



TUGAS AKHIR - RE 141581

# PENYISIHAN ION FOSFAT, FLUORIDA DAN KALSIUM PADA AIR LIMBAH FOSFAT PT PETROKIMIA GRESIK DENGAN METODE ELEKTRODIALISIS

CINTYA SERUNI NINDITA  
3312100097

Dosen Pembimbing  
ARSETO YEKTI BAGASTYO, ST., MT., M.PHIL., PHD  
NIP 19820804 200501 1 001

JURUSAN TEKNIK LINGKUNGAN  
Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember  
Surabaya 2016



FINAL PROJECT - RE 141581

*PHOSPHATE, FLUORIDE AND CALCIUM  
IONS REMOVAL ON PHOSPHATE  
MANUFACTURER WASTEWATER PT.  
PETROKIMIA GRESIK BY USING  
ELECTRODIALYSIS*

CINTYA SERUNI NINDITA  
3312100097

Supervisor  
ARSETO YEKTI BAGASTYO, ST., MT., M.PHIL., PHD  
NIP 19820804 200501 1 001

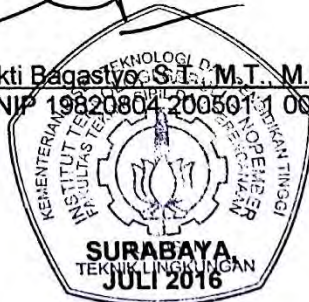
DEPARTEMENT OF ENVIRONMENTAL ENGINEERING  
Faculty of Civil Engineering and Planning  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember  
Surabaya 2016

# PENYISIHAN ION FOSFAT, FLUORIDA DAN KALSIMUM PADA AIR LIMBAH FOSFAT PT PETROKIMIA GRESIK DENGAN METODE ELEKTRODIALISIS

**Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat Memperoleh  
Gelara Sarjana**

Oleh :  
**CINTYA SERUNI NINDITA**  
NRP 3312100097

Arseto Yekti Bagastyo S.T., M.T., M.Phil., PH.D  
NIP 198208042005011 001



**ABSTRAK**  
**Penyisihan Ion Fosfat, Fluorida dan Kalsium pada Air**  
**Limbah Fosfat PT. Petrokimia Gresik dengan Metode**  
**Elektrodialisis**

Nama : Cintya Seruni Nindita  
NRP : 3312100097  
Jurusan : Teknik Lingkungan  
Dosen Pembimbing : Arseto Yekti Bagastyo, ST., MT.,  
M.Phil., PhD

Limbah Pabrik Asam Fosfat PT Petrokimia Gresik memiliki kadar fosfat dan fluorida yang tinggi yaitu sebesar 4540,82 mg/L dan 9722,17 mg/L. Metode pengolahan yang digunakan saat ini adalah metode koagulasi dan flokulasi. Produk samping dari metode pengolahan ini berupa lumpur yang memerlukan proses pengolahan lanjutan. Alternatif pengolahan lain yang dapat digunakan tanpa menghasilkan produk samping adalah menggunakan metode elektrodialisis. Pada proses elektrodialisis, ion-ion fosfat, fluorida dan kalsium dapat tersisihkan.

Pada prinsipnya, dalam proses elektrodialisis fosfat dan fluorida sebagai anion pada air limbah akan terpisah menuju anoda, sedangkan kalsium dan amonium sebagai kation akan terpisah menuju katoda. Beberapa faktor yang mempengaruhi proses elektrodialisis adalah kuat arus, jenis elektroda, jarak antar elektroda, jenis membran dan luas permukaan membran. Pada penelitian ini variabel yang digunakan adalah kuat arus dan luas permukaan membran. Variasi kuat arus yang digunakan adalah 0,5 A, 0,75 A, dan 1 A serta luas permukaan membran 100 cm<sup>2</sup> dan 200 cm<sup>2</sup>. Jumlah kompartemen sel elektrodialisis yang digunakan sebanyak tiga kompartemen. Proses elektrodialisis menggunakan jenis membran CMI 7000S sebagai *cation*

*exchange membrane* dan AMI 7001S sebagai *anion exchange membrane*. Jenis elektroda yang digunakan adalah *stainless steel* sebagai anoda dan katoda. Penelitian dilakukan dengan menggunakan reaktor sistem *batch* dalam skala laboratorium. Parameter yang diuji untuk setiap variasi adalah pH, konduktifitas,  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{PO}_4^{3-}$ ,  $\text{F}^-$  dan  $\text{NH}_4^+$ .

Proses elektrodialisis secara efektif untuk kapasitas air limbah 4 L berlangsung pada arus listrik 0,75 A dengan parameter perpindahan ion fluorida mencapai 885,47 mg/L, fosfat 30,69 mg/l dan kalsium 20,48 mg/L selama 6 jam proses elektrodialisis. Dengan luas permukaan membran efektif 100  $\text{cm}^2$  dan perbandingan volume efektif reaktor:volume air limbah 1:20. Kebutuhan energi yang diperlukan untuk variasi proses elektrodialisis efektif sebesar 2,70 kWh/m<sup>3</sup>. Peningkatan besar arus listrik menjadi 1 A tidak efektif karena hanya menambahkan besar konsentrasi ion yang berpindah 21,97% dan menambahkan 90,7 % kebutuhan energi.

***Kata Kunci: elektrodialisis, fosfat, fluorida, kalsium , kuat arus, luas membran.***

**ABSTRACT**  
**Phosphate, Fluoride and Calcium Ions Removal on**  
**Phosphate Manufacturer Waste Water PT. Petrokimia**  
**Gresik by using Electrodialysis.**

Name : Cintya Seruni Nindita  
NRP : 3312100097  
Department : Environmental Engineering  
Supervisor : Arseto Yekti Bagastyo, ST., MT.,  
M.Phil., PhD

*Wastewater from phosphate manufacturer PT Petrokimia Gresik contains 4540,82 mg/L phosphate and 9722,17 mg/L fluoride. PT Petrokimia Gresik used coagulation and flocculation method for reducing concentration phosphate and fluoride. However, this treatment produce sludge as by product. Another alternative treatment that might be used is electrodialysis method. During the electrodialysis process, phosphate, fluoride and calcium ion in wastewater will be removed.*

*Basically, in electrodialysis process phosphate and fluoride as anion contained in wastewater will be separated to anode whereas the calcium and ammonium as cation go to cathode. Factors that influenced electrodialysis were electricity current, type of electrode, distance between electrodes, type of membrane and membrane surface area. Thus, research variable used here are electricity current and membrane surface area. Electricity current used were 0,5 A, 0,75 A and 1 A, membrane surface area used were 100 cm<sup>2</sup> and 200 cm<sup>2</sup>. Electrodialysis cell consist of three compartments and two types of membrane. CMI 7000S as cation exchange membrane and AMI 7001S as anion exchange membrane. Type of electrode used were stainless steel for anode and cathode. This research ran in laboratory scale and batch system. The analyzed parameters were pH, conductivity, Ca<sup>2+</sup>, PO<sub>4</sub><sup>3-</sup>, F<sup>-</sup> and NH<sub>4</sub><sup>+</sup>.*

*Electrodialysis process for 4 L wastewater capacity effectively ran by using electricity current 0,75 A and membrane surface area 100 cm<sup>2</sup> removed fluoride ions up to 885,47 mg/L, phosphate 30,69 mg/L and calcium 20,48 mg/L during 6 hours for effective reactor volume: wastewater treated volume rasion 1:20. Energy needed for the choosen variable process was 2,70 kWh/m<sup>3</sup>. By adding electricity current to 1 A only increase 21,97% of ions transfer concentration and it caused 90,7% more energy needed.*

***Keywords: calcium, elektrodialysis, electricity current, fluoride, membrane surface area, phosphate***

## **KATA PENGANTAR**

Puji syukur kepada Allah SWT karena atas ridho dan rahmatnya, laporan tugas akhir saya dengan judul Penyisihan Fosfat, Fluorida dan Kalsium pada Air Limbah Fosfat PT. Petrokimia Gresik dengan Metode Elektrodialisis dapat terselesaikan dengan baik. Tidak lupa saya ucapkan terimakasih untuk berbagai pihak yang telah membantu saya dalam pengerjaan laporan ini.

1. Bapak Arseto Yekti Bagastyo, ST., MT., M.Phil., PhD selaku dosen pembimbing, terimakasih atas bimbinganya selama proses pengerjaan tugas akhir.
2. Ibu Prof. Dr. Yulinah Trihadiningrum, M.App.Sc, Ibu IDAA Warmadewanthi, ST., MT., PhD dan Bapak Ir. Mas Agung Mardyanto, ME, PhD selaku dosen penguji tugas akhir, terimakasih atas saran dan kritik selama proses pembuatan laporan tugas akhir.
3. Ibu Anindita Pramasari selaku pembimbing lapangan di PT. Petrokimia Gresik.
4. Bapak Ir. Eddy Setiadi Soedjono, Dipl.SE, MSc, PhD selaku Kepala Workshop Jurusan Teknik Lingkungan atas dukungan selama pengerjaan percobaan tugas akhir di workshop.
5. Bapak Hadi selaku laboran Laboratorium Pemulihan Air Jurusan Teknik Lingkungan atas bimbingan dan bantuannya selama melakukan analisa di laboratorium.
6. Kedua orang tua dan kedua adik saya atas doa serta dukungannya.
7. Teman-teman asistensi dan laboratorium Lucky, Aulia Rodlia, Tiffany, Rohim, Rahani, Rinda, Iif, Susi, Nisa, Tiara, Veve dan semua angkatan 2012 Teknik Lingkungan ITS.

Semoga dengan tersusunnya tugas akhir ini dapat bermanfaat untuk pihak PT. Petrokimia Gresik sebagai rekomendasi pengolahan air limbah. Serta dapat bermanfaat untuk para pembaca.



Surabaya, Mei 2016

Penulis

## **DAFTAR ISI**

<b>ABSTRAK .....</b>	<b>i</b>
<b>ABSTRACT .....</b>	<b>iii</b>
<b>KATA PENGANTAR .....</b>	<b>v</b>
<b>DAFTAR ISI .....</b>	<b>vii</b>
<b>DAFTAR TABEL .....</b>	<b>xi</b>
<b>DAFTAR GAMBAR .....</b>	<b>xii</b>
<b>BAB I .....</b>	<b>1</b>
1.1 Latar Belakang .....	1
1.2 Rumusan Masalah .....	3
1.3 Tujuan Penelitian .....	3
1.4 Ruang Lingkup Penelitian.....	3
1.5 Manfaat Penelitian .....	4
<b>BAB II .....</b>	<b>5</b>
2.1 Karakteristik Limbah.....	5
2.2 Elektrodialisis .....	6
2.3 Faktor-faktor yang Mempengaruhi Proses Elektrodialisis .....	9
2.4 Keuntungan dan Kerugian Proses Elektrodialisis .....	11
2.5 Teknik Penyisihan Fosfat .....	11
2.6 Teknik Penyisihan Fluorida.....	12
2.7 Hukum Faraday I.....	13
2.7 Kebutuhan Energi .....	13
2.9 Penelitian Terdahulu .....	14
<b>BAB III .....</b>	<b>17</b>
3.1 Kerangka Pelaksanaan Penelitian .....	17

3.2 Studi Literatur.....	20
3.3 Penentuan Variabel dan Parameter.....	20
3.4 Persiapan Penelitian .....	21
3.4.1 Penelitian Pendahuluan .....	21
3.4.2 Persiapan Alat dan Bahan.....	22
3.5 Penelitian Utama.....	28
3.6 Analisis dan Pembahasan .....	30
<b>BAB IV .....</b>	<b>32</b>
4.1 Parameter dan Uji Karakteristik .....	32
4.2 Penelitian Pendahuluan.....	34
4.3 Pengujian Variasi Luas Permukaan Membran dan Kuat Arus....	35
4.3.1 Parameter Uji Fosfat ( $\text{PO}_4^{3-}$ ).....	36
4.3.2 Parameter Uji Fluorida ( $\text{F}^-$ ).....	40
4.3.3 Uji Parameter Ammonium ( $\text{NH}_4^+$ ) .....	44
4.3.4 Uji Parameter Kalsium ( $\text{Ca}^{2+}$ ) .....	47
4.3.5 Uji Parameter pH dan Konduktifitas .....	48
4.4 Keseimbangan Massa Parameter Uji.....	51
4.5 Kompetisi Ion pada Proses Elektrodialisis.....	54
4.6 Kebutuhan Energi .....	56
4.7 Pemanfaatan Proses Elektrodialisis.....	57
<b>BAB V .....</b>	<b>61</b>
5.1 Kesimpulan.....	61
5.2 Saran.....	62
<b>DAFTAR PUSTAKA .....</b>	<b>63</b>
Lampiran Prosedur Analisa Laboratorium.....	67
Lampiran Hasil Analisis dan Hasil Perhitungan.....	71
Lampiran Dokumentasi Penelitian .....	81

Lampiran Hasil Analisis Laboratorium .....	83
Biodata Penulis.....	105

**(Halaman ini sengaja dikosongkan)**

## DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Karakteristik Air Limbah PT. Petrokimia Gresik .....	5
Tabel 2.2 Membran Penukar untuk Elektrodialisis .....	6
Tabel 2.3 Penelitian Terdahulu.....	14
Tabel 3.1 Metode Pengukuran Setiap Parameter .....	20
Tabel 3.2 Spesifikasi Membran yang Digunakan .....	22
Tabel 3.3 Pengambilan Sampel Setiap Satu Siklus Pengamatan ( <i>running</i> ).....	29
Tabel 3.4 Variasi Sampel Hasil Penelitian.....	30
Tabel 3.5 Data Sampel Penelitian .....	30
Tabel 4.1 Karakteristik Limbah PT. Petrokimia Gresik .....	31
Tabel 4.2 Perbandingan Hasil Analisis Fosfat Utama dan Duplo Variasi Luas Permukaan Membran 100 cm <sup>2</sup> .....	38
Tabel 4.3 Perbandingan Hasil Analisis Fluorida Utama dan Duplo Variasi Luas Permukaan Membran 100 cm <sup>2</sup> .....	43
Tabel 4.4 Perubahan Konsentrasi Kalsium .....	48
Tabel 4.5 Keseimbangan Massa Parameter Uji Fosfat .....	52
Tabel 4.6 Keseimbangan Massa Parameter Uji Fluorida ....	53
Tabel 4.7 Keseimbangan Massa Parameter Uji Fluorida ....	53
Tabel 4.8 Perbandingan Perpindahan Anion Trivalent dan Monovalent.....	56
Tabel 7.1 Hasil Analisa Parameter Fosfat Proses Elektrodialisis Variasi Luas Membran 100 cm <sup>2</sup> .....	71
Tabel 7.2 Hasil Analisa Parameter Fosfat Proses Elektrodialisis Variasi Luas Membran 200 cm <sup>2</sup> .....	72

Tabel 7.3 Hasil Analisa Parameter Fluorida Proses Elektrodialisis Variasi Luas Membran 100 cm <sup>2</sup> .....	73
Tabel 7.4 Hasil Analisa Parameter Fluorida Proses Elektrodialisis Variasi Luas Membran 200 cm <sup>2</sup> .....	74
Tabel 7.5 Hasil Analisa Parameter Ammonium Proses Elektrodialisis Variasi Luas Membran 100 cm <sup>2</sup> .....	75
Tabel 7.6 Hasil Analisa Parameter Ammonium Proses Elektrodialisis Variasi Luas Membran 200 cm <sup>2</sup> .....	76
Tabel 7.7 Hasil Analisa Parameter Kalsium Proses Elektrodialisis Semua Variasi .....	77
Tabel 7.8 Hasil Analisa Parameter pH Proses Elektrodialisis dengan Semua Variasi .....	78
Tabel 7.9 Hasil Analisa Parameter Konduktifitas Proses Elektrodialisis dengan Semua Variasi .....	79
Tabel 7.10 Perhitungan Kebutuhan Energi .....	80

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Susunan Sel Elektrodialisis Jenis <i>Sheet-Flow</i> .	8
Gambar 2.2 (a) <i>Path-Flow</i> (b) <i>Sheet-Flow</i>	8
Gambar 3.1 Diagram Kerangka Pelaksanaan Penelitian	19
Gambar 3.2 Konfigurasi Reaktor Variasi Luas Permukaan Membran 100 cm <sup>2</sup>	24
Gambar 3.3 Konfigurasi Reaktor Variasi Luas Permukaan Membran 200 cm <sup>2</sup>	25
Gambar 3.4 Diagram Sistem Elektrodialisis	26
Gambar 3.5 Gambar Reaktor	27
Gambar 4.1 Grafik Konsentrasi PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup> pada Variasi Arus Listrik 0,5 A.	36
Gambar 4.2 Grafik Konsentrasi PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup> pada Variasi Arus Listrik 0,75 A.	36
Gambar 4.3 Grafik Konsentrasi PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup> pada Variasi Arus Listrik 1 A.	37
Gambar 4.4 Grafik Konsentrasi F <sup>-</sup> pada Variasi Arus Listrik 0,5 A.	40
Gambar 4.5 Grafik Konsentrasi F <sup>-</sup> pada Variasi Arus Listrik 0,75 A	40
Gambar 4.6 Grafik Konsentrasi F <sup>-</sup> pada Variasi Arus Listrik 1 A	41
Gambar 4.7 (a) Membran Anion Sebelum Digunakan. (b) Anion yang Tersisih Sebagai Presipitat pada Membran Anion Setelah Digunakan	43
Gambar 4.8 Grafik Konsentrasi NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> pada Variasi Arus Listrik 0,5 A	44



Gambar 4.9 Grafik Konsentrasi $\text{NH}_4^+$ pada Variasi Arus Listrik 0,75 A .....	45
Gambar 4.10 Grafik Konsentrasi $\text{NH}_4^+$ pada Variasi Arus Listrik 1 A .....	45
Gambar 4.11 (a) Membran Kation Sebelum Digunakan. (b) Kation yang Tersisih Sebagai Presipitat pada Membran Kation Setelah Digunakan .....	48
Gambar 4.12 Grafik pH dan Konduktifitas pada Air Limbah dengan Membran 200 $\text{cm}^2$ .....	49
Gambar 4.13 Grafik pH dan Konduktifitas pada Anoda dengan Membran 200 $\text{cm}^2$ .....	49
Gambar 4.14 Grafik pH dan Konduktifitas pada Katoda dengan Membran 100 $\text{cm}^2$ .....	50
Gambar 4.15 Grafik Perbandingan Massa Zat $\text{PO}_4^{3-}$ dan Arus Listrik .....	55
Gambar 4.16 Grafik Perbandingan Massa Zat $\text{F}^-$ dan Arus Listrik .....	56
Gambar 4.17 Grafik Perbandingan Kebutuhan Energi dan Rapat Arus .....	57
Gambar 6.1 Kurva Kalibrasi Ammonium .....	67
Gambar 6.2 Kurva Kalibrasi Fosfat .....	68
Gambar 6.3 Kurva Kalibrasi Fluorida .....	69
Gambar 8.1 Reaktor Elektrodialisis .....	81
Gambar 8.2 Perubahan Warna pada Anoda .....	81
Gambar 8.3 Rangkaian Reaktor Elektrodialisis Awal <i>Running</i> .....	81

Gambar 8.4 Rangkaian Reaktor Elektrodialisis Akhir <i>Running</i> .....	81
Gambar 8.5 Kompartemen Anoda .....	82
Gambar 8.6 Kompartemen Katoda .....	82
Gambar 8.7 Pengukuran Konduktifitas .....	82
Gambar 8.8 Elektroda Berongga pada Anoda .....	82

## BIODATA PENULIS

# BAB I

## PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

Salah satu perusahaan pupuk besar di Indonesia adalah PT Petrokimia Gresik. PT Petrokimia Gresik memproduksi berbagai jenis pupuk ZA, NPK, Urea dan produk samping berupa bahan-bahan kimia. Berdasarkan karakteristiknya limbah cair petrokimia mengandung kadar fosfat sebesar 4540,82 mg/L dan fluorida sebesar 9722,17 mg/L dari limbah buangan Pabrik III yaitu dari pabrik asam fosfat, asam sulfat, *cement retarder*, aluminium fluorida dan ZA II. Sedangkan sumber amonium berasal dari limbah buangan Pabrik I yaitu dari pabrik ZA I, ZA II, urea, amonia, kabondioksida dan unit *air separation plant*. Penyaluran air limbah dengan kadar fosfat yang tinggi menuju badan air menyebabkan adanya eutrofikasi. Sedangkan kadar fluorida yang tinggi berkaitan dengan bahaya pada kesehatan.

Beberapa macam teknik defluoridasi pada air antara lain, secara kimiawi, pertukaran ion, penyisihan menggunakan membran, *reverse osmosis*, *nanofiltration*, dan adsorpsi (Rao dan Metre. 2014, Orlando *et al.*, 2002). Sedangkan metode penyisihan fosfat antara lain, pengendapan, *Microbial Electrolisis Cell* (MEC) dan elektrodialisis.

Pengolahan yang telah dilakukan di PT Petrokimia Gresik adalah metode pengendapan dengan proses koagulasi dan flokulasi untuk menurunkan konsentrasi fosfat dan fluorida. Dari proses koagulasi dan flokulasi, endapan kalsium fosfat yang dihasilkan dimanfaatkan sebagai *filler* pupuk. Sedangkan menurut Chang dan Liu (2007), fosfat dapat mengganggu proses penyisihan fluorida pada metode pengendapan. Ion fosfat berkompetisi dengan ion fluorida untuk berikatan dengan kalsium. Oleh karena itu, penyisihan fosfat dan fluorida secara bersamaan dapat dilakukan dengan metode elektrodialisis.

Elektrodialisis adalah salah satu proses yang telah banyak digunakan sejak 50 tahun yang lalu dengan skala besar untuk memproduksi air minum dari sumber air payau. Namun, kini dengan menerapkan kombinasi membran bipolar ataupun resin penukar ion, proses elektrodialisis dapat pula digunakan untuk berbagai aplikasi pada proses kimia industri, industri makanan dan obat begitu juga untuk pengolahan air limbah (Strathmann, 2010). Penyisihan fosfat dengan metode *Microbial Electrolysis Cell* (MEC) dapat menghasilkan nilai efisiensi 20-40% untuk removal fosfat (Cusick dan Logan, 2012). Sedangkan metode elektrodialisis dapat menghasilkan nilai efisiensi removal fosfat sebesar 86,1 – 94,4% (Wang *et al.*, 2015).

Hal utama yang perlu diperhatikan dari teknologi elektrodialisis adalah mengetahui karakteristik ion yang akan dipisahkan, fasilitas elektrik, penggunaan daya, arus listrik, *cross flow velocity*, jenis membran, temperatur, elektroda, dan jarak antar elektroda (Padaki *et al.*, 2015). Penentuan penggunaan besar arus listrik berpengaruh pada jumlah ion yang dapat disisihkan dalam satuan waktu tertentu. Sedangkan penentuan luas permukaan membran berpengaruh kepada kapasitas membran untuk dilalui ion-ion yang berpindah dalam reaktor. Limbah fosfat yang telah diolah dengan proses elektrodialisis dapat dicampurkan dengan air limbah ammonia PT Petrokimia Gresik sebagai salah satu upaya pengolahan limbah ammonia yaitu menggunakan metode pengendapan *struvite*.

## 1.2 Rumusan Masalah

1. Bagaimana pengaruh luas permukaan membran dalam proses elektrodialisis terhadap efisiensi penyisihan fosfat, fluorida dan kalsium
2. Bagaimana pengaruh besar arus listrik dan tegangan yang digunakan dalam proses elektrodialisis terhadap efisiensi penyisihan fosfat, fluorida dan kalsium.
3. Berapa besar energi yang dibutuhkan untuk penyisihan fosfat, fluorida dan kalsium dengan elektrodialisis.

### 1.3 Tujuan Penelitian

1. Memperoleh luas permukaan membran efektif untuk penyisihan fosfat, fluorida dan kalsium.
2. Memperoleh besar arus listrik yang efektif untuk penyisihan fosfat, fluorida dan kalsium.
3. Menganalisis kebutuhan energi listrik yang dibutuhkan untuk penyisihan fosfat, fluorida dan kalsium.

### 1.4 Ruang Lingkup Penelitian

1. Air limbah yang digunakan sebagai sampel/ *feed* proses elektrodialisis adalah air limbah Pabrik III PT Petrokimia Gresik.
2. Menggunakan air limbah Pabrik I PT Petrokimia Gresik untuk larutan konsentrat pada anoda dan katoda.
3. Pembuatan alat/ model penelitian dilakukan dalam skala laboratorium.
4. Percobaan dilakukan dengan proses *batch*.
5. Parameter utama yang diukur adalah kadar pH, konduktivitas,  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{F}^-$  dan  $\text{PO}_4^{3-}$ . Parameter tambahan adalah  $\text{NH}_4^+$ .
6. Variabel yang digunakan adalah kuat arus dan luas permukaan membran.

### 1.5 Manfaat Penelitian

1. Memberikan alternatif penyisihan fluorida dan fosfat yang efektif untuk pengolahan air limbah pabrik fosfat PT Petrokimia Gresik dengan menggunakan metode elektrodialisis.
2. Memberikan rekomendasi pengolahan air limbah pabrik amonia PT Petrokimia Gresik dengan mencampurkan hasil dari proses elektrodialisis untuk membentuk endapan *struvite*.

## BAB II

### TINJAUAN PUSTAKA

#### 2.1 Karakteristik Limbah

Air limbah yang digunakan dalam penelitian ini adalah air limbah yang berasal dari Pabrik III PT Petrokimia Gresik. Pabrik III terdiri dari beberapa unit produksi antara lain, Pabrik asam fosfat, pabrik asam sulfat, pabrik *cement retarder*, pabrik aluminium fluorida dan pabrik ZA II. Dalam prosesnya, pabrik asam fosfat menghasilkan produk samping berupa *slurry gypsum* ( $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ) (Muhammad dan Hanani, 2014). Kandungan kalsium diindikasikan dengan terbentuknya produk samping tersebut.

Karakteristik air limbah PT Petrokimia Gresik yang berasal dari Pabrik I, II dan III disajikan pada Tabel 2.1.

**Tabel 2.1 Karakteristik Air Limbah PT Petrokimia Gresik**

Parameter	Satuan	Nilai
pH	-	1,72
TSS	mg/L	155,25
COD	mg/L	44,25
TKN	mg/L	1432,04
PO <sub>4</sub>	mg/L	3826,16
NH <sub>4</sub>	mg/L	1724,61
Mg	mg/L	53,05
Ca	mg/L	21
F	mg/L	20
Al	mg/L	1,38

Sumber : Pratama, 2015

## 2.2 Elektrodialisis

Elektrodialisis adalah proses pemisahan ion menggunakan membran yang bersifat permeabel berupa lembaran dari resin penukar ion. Prinsip kerja proses elektrodialisis adalah berpindahnya ion-ion dari suatu larutan menuju larutan yang lain melalui sebuah membran akibat adanya perbedaan tegangan listrik. Ion positif (kation) bergerak menuju katoda sedangkan ion negatif (anion) bergerak menuju anoda. Baik ion positif maupun ion negatif berpindah melalui sebuah membran. Ion negatif (anion) hanya dapat berpindah melalui membran penukar anion (*anion exchange membran*), sedangkan ion positif hanya dapat berpindah melalui membran penukar kation (*cation exchange membran*). Pemilihan karakteristik membran yang digunakan untuk setiap proses elektrodialisis berbeda-beda berdasarkan tujuan penelitian/ pengolahan. Beberapa karakteristik membran antara lain, selektivitas antara ion yang berlawanan, konduktivitas elektrik rendah, stabilitas kimia tahan lama, kekuatan mekanis, dan tahan terhadap *fouling*. Proses elektrodialisis dapat berlangsung secara kontinyu ataupun bertahap (*batch*). Jika menggunakan proses kontinyu, influen dialirkan dalam jumlah tertentu secara terus menerus melalui sejumlah kompartemen yang berisikan larutan tertentu. Sedangkan proses *batch* dilakukan dengan mengalirkan influen dengan volume tertentu secara bertahap, hasil efluen diresirkulasikan lagi hingga tercapai hasil yang diinginkan. Beberapa membran yang digunakan untuk aplikasi proses elektrodialisis ditampilkan pada Tabel 2.2.

**Tabel 2.2 Membran Penukar untuk Elektrodialisis**

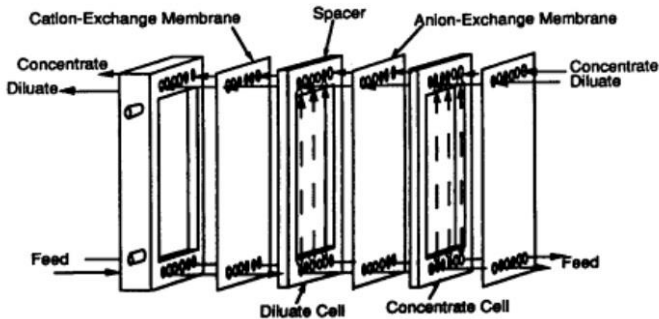
Produsen	Merk	Bahan	Karakteristik
<b>Tokuyama Soda</b>	Neosepta	Styrene-divinyl benzene	Tahan untuk penggunaan kekuatan mekanis yang tinggi, hambatan listrik sedang
<b>Asahi Glass</b>	Selemin	Polystyrene-based	Hambatan listrik lemah

<b>Ionic, Inc</b>		Heterogenous polystyrene-based/ acrylic fabric, with fixed sulfonate (cation-permeable) and quaternary amonium cations (anion-permeable)	Permukaan kasar, hambatan rendah, selektivitas tinggi, stabil secara kimiawi, tingkat <i>fouling</i> rendah
<b>Dupont Co.</b>	Nafion	Pefluorinated sulfuric acid polymer	Mudah dilalui oleh kation
<b>Sybron</b>	Ionac	Heterogeneous resin-PVDF/ fabric	Kekuatan mekanis tinggi

Sumber : Farrell *et al.*, 2003

Suatu proses elektrodialisis bukan hanya berdasarkan karakteristik membran yang digunakan namun juga berdasarkan beberapa proses dan peralatan yang dibutuhkan dalam parameter desain, seperti debit influen, sel elektrodialisis, dan jarak kompartemen pada sel. Ada bermacam-macam desain penyusunan suatu sel elektrodialisis, namun yang sering digunakan dengan skala besar adalah *sheet-flow* dan *path-flow*. *Sheet-flow* merupakan jenis sel elektrodialisis tipikal yang sering digunakan. Sel disusun dari beberapa membran yang terletak diantara elektroda sedemikian rupa dengan tetap menjaga larutan terpisah. Membran tidak hanya diletakkan secara terpisah namun juga dilengkapi dengan adanya *manifold* sebagai celah tempat mengalirnya larutan pada kompartemen yang berbeda. Masalah yang sering ada dalam desain sel elektrodialisis adalah mendapatkan distribusi aliran yang seragam pada masing-masing kompartemen. Pada praktiknya, dibutuhkan 200-1000 *cation-* dan *anion exchange membrane* untuk menyusun sel elektrodialisis dengan 100-500 pasang sel. Berikut adalah contoh gambar susunan sel elektrodialisis dengan desain *sheet-flow*. (Noble dan Stern, 1995).

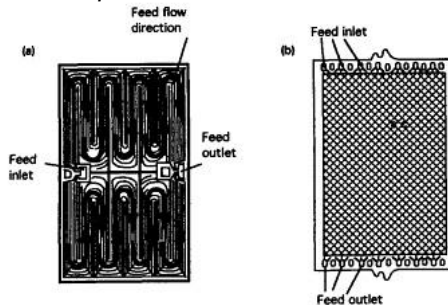




**Gambar 2.1 Susunan Sel Elektrodialisis Jenis *Sheet-Flow*.**

Sumber : Noble dan Stern, 1995

Proses pemisahan menggunakan membran juga dipengaruhi oleh konsentrasi polarisasi, membran *fouling*, kebutuhan energi listrik. Penyusunan sel elektrolisis yang baik harus mempertimbangkan efektivitas maksimum luas area membran per unit volume kompartemen. Sedangkan untuk jenis *path-flow*, sel disusun sedemikian rupa berliku-liku membentuk saluran panjang yang sempit sebagai tempat mengalirnya larutan. Tujuannya adalah untuk mencapai waktu tinggal yang lama pada larutan di dalam sel agar efek polarisasi dapat diminimalkan. Berikut gambar ilustrasi perbedaan sel jenis *sheet-flow* dan *path-flow*.



**Gambar 2.2 (a) *Path-Flow* (b) *Sheet-Flow***

Sumber : Noble dan Stern, 1995

## 2.3 Faktor-faktor yang Mempengaruhi Proses Elektrodialisis

Beberapa faktor yang dapat mempengaruhi proses elektrolisis antara lain :

### a. DC Supply

*Direct Current Supply* adalah cara yang efektif untuk mempercepat perpindahan kation dan anion menuju katoda dan anoda. Kecepatan perpindahan ion ini dapat diatur dengan variabel kuat arus (Huang *et al.*, 2006).

### b. Elektroda

Elektroda adalah konduktor yang digunakan untuk mengalirkan arus listrik dalam sel elektrolisis (Riyanto, 2013). Terdapat dua jenis elektroda, yaitu elektroda inert dan elektroda tidak inert. Elektroda inert adalah elektroda yang tidak ikut bereaksi sebagai katoda maupun anoda, sehingga yang mengalami proses reduksi dan oksidasi dalam elektrolisis adalah elektrolit. Contoh elektroda inert antara lain, karbon (C), dan Platina (Pt). Sedangkan elektroda tidak inert adalah elektroda yang ikut bereaksi dalam proses elektrolisis. Contoh elektroda tidak inert antara lain besi (Fe), aluminium (Al), tembaga (Cu), seng (Zn), perak (Ag), dan emas (Au). Elektroda memiliki kriteria cepat dan tidaknya tereduksi yang dapat dilihat pada deret volta berikut:

Li-K-Ba-Sr-Ca-Na-Mg-Al-Mn-Zn-Cr-Fe-Cd-Co-Ni-Sn-Pb-H<sup>+</sup>-  
Cu-Hg-Ag-Pt-Au

Semakin ke kiri nilai  $E^{\circ}_{red}$  nya semakin kecil yang berarti logam tersebut semakin sulit mengalami reduksi dan cenderung mengalami oksidasi. Begitu juga sebaliknya.

### c. Ion Exchange Membrane

Terdapat dua jenis *ion exchange membrane* yang dapat diterapkan pada proses elektrodialisis yaitu *Cation Exchange Membrane* (CEM) dan *Anion Exchange Membrane* (AEM). CEM merupakan membran yang melewatkan ion positif sedangkan AEM merupakan membran yang melewatkan ion negatif. Keduanya memiliki hambatan listrik yang rendah, tidak larut dalam air, mudah

penggantiannya, tahan terhadap potensi penyumbatan, mudah dibersihkan, dan tahan terhadap fluktuasi pH. Membran ini selektif terhadap ion yang melaluinya, sehingga hanya ion-ion tertentu yang dapat lolos. (Valero *et al.*, 2011)

d. Pelarut dan Larutan

Elektrolit adalah zat yang terlarut dan bentuk ion. Zat yang jumlahnya lebih sedikit dalam larutan disebut zat terlarut sedangkan zat yang jumlahnya lebih banyak disebut pelarut.

e. *Cross Flow Velocity*

Semakin tinggi *Cross Flow Velocity* akan meningkatkan akumulasi kedalam yang dapat mengurangi konsentrasi polarisasi dan meningkatkan tingkat penyerapan (*permeate flux*). (Padaki *et al.*, 2015)

f. Temperatur

Semakin tinggi temperatur akan meningkatkan perpindahan massa dan laju difusi pada larutan (Padaki *et al.*, 2015).

g. *Trans Membrane Pressure*

Semakin tinggi TMP akan meningkatkan *driving force* (Padaki *et al.*, 2015).

h. pH

Tingkat pH dapat mempengaruhi material dasar membran (Padaki *et al.*, 2015).

## 2.4 Keuntungan dan Kerugian Proses Elektrodialisis

Proses – proses dalam teknik membran dapat digolongkan berdasarkan gaya dorongnya (*driving force*). Proses mikrofiltrasi (MF), ultrafiltrasi (UF), nanofiltrasi (NF), *reverse osmosis* (RO) dan piezodialisis menggunakan perbedaan tekanan sebagai *driving force*. Salah satu keuntungan dari aplikasi teknologi membran adalah rendahnya energi yang digunakan. Pemisahan yang berbasis membran tidak berdasarkan hasil kesetimbangan fasa yang menggunakan banyak energi. Perubahan fasa dapat dihindari dalam proses pemisahan menggunakan membran, karena proses dapat tetap berjalan dalam kondisi normal. Sehingga tidak akan banyak memberikan pengaruh pada hasil yang didapatkan. Desain

modul membran juga sederhana, mudah dioperasikan dan tidak membutuhkan peralatan dalam jumlah banyak. Namun, selain keuntungan yang telah disebutkan, terdapat juga kelemahan pada proses pemisahan menggunakan membran. Beberapa diantaranya adalah permasalahan pada optimasi fluks, selektivitas ion, kepekaan material membran, *fouling*, dan *dependability*. (Wenten, 2002)

## 2.5 Teknik Penyisihan Fosfat

Beberapa teknik penyisihan fosfat adalah dengan metode pengendapan sebagai kalsium fosfat, secara elektrokimia menggunakan metode elektrodialisis dan metode adsorpsi (Carlsson *et al.*, 1996, Wang *et al.*, 2015, Yagi dan Fukushi, 2012). Dari penelitian yang telah dilakukan, dibuktikan bahwa pengendapan kalsium fosfat dapat terjadi konsentrasi yang tinggi baik kalsium dan fosfat. Pada endapan yang dihasilkan molar rasio Ca/P 1 – 1,3 (Carlsson *et al.*, 1996). pH merupakan salah satu faktor penting dalam penyisihan fosfat dengan metode pengendapan. Endapan kalsium fosfat yang sudah terbentuk dapat terlarut kembali pada pH tertentu. Dalam bentuk  $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$  kalsium dan fosfat dapat terlarut kembali pada pH netral, sedangkan dalam bentuk  $\text{CaHPO}_4$  pada pH  $\approx 8,5$  (Carlsson *et al.*, 1996).

Menurut Wang *et al.* (2015), penyisihan fosfat dapat dilakukan dengan metode elektrodialisis. Fosfat sebagai anion akan berpindah menuju anoda melalui *anion exchange membrane*. Selain menyisihkan, dengan metode elektrodialisis juga didapat kadar fosfat murni kembali (*phosphate recovery*). Sehingga hasilnya dapat diaplikasikan untuk pengolahan lain. Contohnya pada industri pupuk, fosfat dapat diolah dengan metode pengendapan *struvite*. Dengan proses elektrodialisis fosfat yang dapat disisihkan mencapai 86,6% - 94,4% (Wang *et al.*, 2015).

## 2.6 Teknik Penyisihan Fluorida

Fluorida pada air limbah dapat disisihkan dengan beberapa metode antara lain metode elektrokoagulasi dan elektroflokulasi, pengendapan dan *reverse osmosis* (Shen *et al.*, 2003, Chang dan Liu, 2007, Dolar *et al.*, 2010). Pada penyisihan fluorida dengan teknik elektrokoagulasi dan elektroflokulasi dapat menghasilkan effluen dengan konsentrasi fluorida 2 mg/L dari influen dengan konsentrasi fluorida 15 mg/L (Shen *et al.*, 2003). Sedangkan metode pengendapan kimia untuk penyisihan fluorida dilakukan dengan menambahkan kalsium klorida ( $\text{CaCl}_2$ ) atau kapur ( $\text{Ca(OH)}_2$ ) (Chang dan Liu, 2007). Endapan yang dibentuk berupa  $\text{CaF}_2$ . Metode ini banyak digunakan pada industri semikonduktor. Penyisihan fluorida dengan metode *reverse osmosis* mencapai 90-92% (Dolar *et al.*, 2010).

## 2.7 Hukum Faraday I

Hukum Faraday I menyatakan bahwa jumlah massa zat yang dihasilkan di elektroda berbanding lurus dengan jumlah listrik yang digunakan. Hal ini dapat dinyatakan dalam persamaan berikut :

$$m = \frac{e \times i \times t}{96500} \dots\dots\dots(2.1)$$

$$q = i \times t \dots\dots\dots(2.2)$$

$$m = \frac{e \times q}{96500}$$

Keterangan :

m : massa zat yang dihasilkan (gram)

e : berat ekivalen

i : kuat arus (A)

t : waktu (s)

q : muatan listrik (Coloumb)

Hubungan muatan listrik dengan kuat arus dinyatakan dalam rumus berikut :

$$C = I \times t \dots\dots\dots(2.3)$$

Sementara hubungan antara Faraday dan muatan listrik adalah :

$$1 \text{ F} = 96500 \text{ C}$$

$$F = \frac{I \times t}{96500} \dots\dots\dots(2.4)$$

## 2.7 Kebutuhan Energi

Penurunan konsentrasi polutan selama proses elektrokimia dapat direpresentasikan dengan waktu kontak atau fungsi dari muatan listrik spesifik. Muatan listrik spesifik dapat dihitung menggunakan rumus berikut :

$$Q = \frac{J \times A \times t}{v} \dots\dots\dots(2.5)$$

Rapat arus (J) dapat dihitung menggunakan rumus :

$$J = \frac{I}{A} \dots\dots\dots(2.6)$$

Sehingga, didapatkan rumus muatan listrik :

$$Q = \frac{I \times t}{v} \dots\dots\dots(2.7)$$

Kebutuhan energy spesifik (W) diperoleh dari persamaan berikut :

$$W = Q \times V \dots\dots\dots(2.8)$$

Keterangan :

W	: kebutuhan energy spesifik	(kWh/m <sup>3</sup> )
Q	: muatan listrik spesifik	(kAh/m <sup>3</sup> )
I	: kuat arus listrik	(A)
J	: rapat arus listrik	(A/m <sup>2</sup> )
V	: tegangan listrik	(V)
A	: luas elektroda	(m <sup>2</sup> )
T	: waktu operasi	(s)
v	: volume elektrolit	(L)

## 2.9 Penelitian Terdahulu

Penelitian terdahulu yang dijadikan sebagai acuan penelitian tercantum pada Tabel 2.3.

**Tabel 2.3 Penelitian Terdahulu**

<b>Penulis</b>	<b>Hasil Penelitian</b>
<b>Bruggen <i>et al.</i>, 2003</b>	Ion monovalent memiliki tendensi untuk berpindah lebih cepat daripada ion divalent pada proses elektrodialisis.
<b>Kabay <i>et al.</i>, 2006</b>	Penyisihan ion $\text{Ca}^{2+}$ menggunakan elektrodialisis pada konsentrasi larutan $\text{CaCl}_2$ 0,01 N 1 liter dan debit 0,5 l/menit selama 38 menit mencapai 64,15%
<b>Dolar <i>et al.</i>, 2010</b>	Penyisihan fluorida dengan metode <i>reverse osmosis</i> mencapai 90-92%
<b>Strathmann, 2010</b>	Elektrodialisis dengan menerapkan kombinasi membran bipolar ataupun resin penukar ion, proses elektrodialisis dapat digunakan untuk berbagai aplikasi pada proses kimia industri, industri makanan dan obat begitu juga untuk pengolahan air limbah.
<b>Wang <i>et al.</i>, 2015</b>	<i>Recovery</i> amonium dan fosfat yang terkandung dalam air limbah menggunakan prinsip elektrodialisis yang terintegrasi dengan reaktor <i>struvite</i> . Proses dilakukan secara kontinyu, dengan luas permukaan membran 80 cm <sup>2</sup>

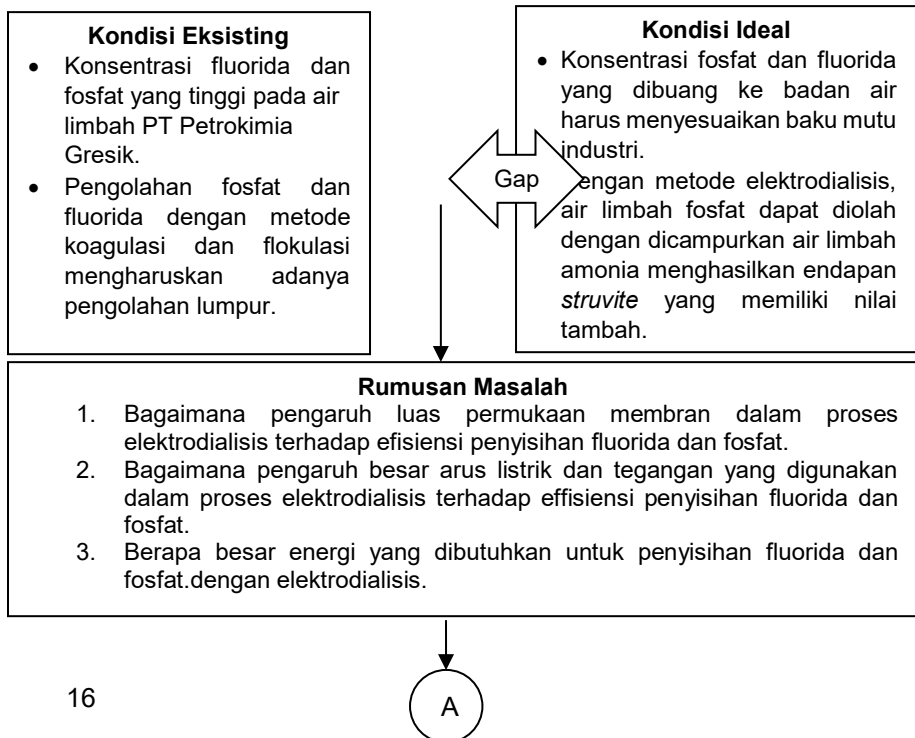
	dan variasi kuat arus 0-2 A selama 20 menit. Removal fosfat 86,1% - 94,4% untuk debit 40 ml/min dengan kuat arus optimum 1,4 A.
--	---



## BAB III METODE PENELITIAN

### 3.1 Kerangka Pelaksanaan Penelitian

Penelitian ini dilakukan untuk menganalisis proses elektrodialisis dalam penyisihan fosfat dan fluorida. Dengan beberapa tujuan lain antaranya, untuk mengetahui kuat arus efektif yang digunakan dan luas membran efektif yang digunakan. Dari penelitian ini akan diketahui efektivitas penyisihan fluorida dan fosfat dari proses elektrodialisis. Selain itu, akan dibahas mengenai kebutuhan energi yang diperlukan untuk proses elektrodialisis. Berikut kerangka pelaksanaan penelitian yang dilengkapi dengan tahapan pelaksanaan penelitian pada Gambar 3.1



A

### Tujuan

1. Memperoleh luas permukaan membran efektif untuk untuk penyisihan fosfat, fluorida dan kalsium.
2. Memperoleh besar arus listrik yang efektif untuk untuk penyisihan fosfat, fluorida dan kalsium.
3. Menganalisis kebutuhan energi listrik yang dibutuhkan untuk untuk penyisihan fosfat, fluorida dan kalsium.

### Ide Penelitian

Penyisihan fosfat dan fluorida pada air limbah PT Petrokimia Gresik dengan elektrodialisis.

### Studi Literatur

- Karakterisasi air limbah PT Petrokimia Gresik.
- Penyusunan desain kompartemen elektrodialisis.
- Proses yang berlangsung pada elektrodialisis dan faktor yang mempengaruhi.
- Uji kandungan  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{PO}_4^{3-}$  dan  $\text{F}^-$  pada hasil proses elektrodialisis.

### Penentuan Variabel dan Parameter

Variabel:

- Kuat arus.
- Volume reaktor.

Parameter:

pH, konduktivitas,  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{PO}_4^{3-}$ ,  $\text{F}^-$  dan  $\text{NH}_4^+$ .

### Persiapan Alat dan Bahan

### Penelitian Pendahuluan

- Penentuan waktu operasi elektrodialisis.
- Uji karakteristik air limbah.
- Preconditioning membran.
- Tes kebocoran reaktor.

B

B

#### Penelitian Utama

- Kualitas effluen dari elektrodialisis (pH, konduktivitas,  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{PO}_4^{3-}$ ,  $\text{F}^-$  dan  $\text{NH}_4^+$ ).
- Efisiensi penyisihan ion pengganggu.



#### Analisis dan Pembahasan

- Menganalisis kualitas effluen yang dihasilkan yaitu kadar akhir pH, konduktivitas,  $\text{F}^-$ ,  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{PO}_4^{3-}$  dan  $\text{NH}_4^+$ .
- Menentukan kondisi optimum penyisihan ion fosfat, fluor dan kalsium dengan metode elektrodialisis.
- Menganalisis kompetisi ion dalam proses elektrodialisis.
- Menganalisis kebutuhan energy ( $\text{kWh/m}^3$ ) yang dibutuhkan untuk proses elektrodialisis.



#### Kesimpulan dan Saran

**Gambar 3.1 Diagram Kerangka Pelaksanaan Penelitian**

### 3.2 Studi Literatur

Studi literatur didapatkan dari buku-buku pedoman, jurnal internasional dan jurnal nasional. Studi literatur dilakukan sebagai dasar dilakukannya penelitian. Penelitian terdahulu perlu dipelajari agar dapat dilakukan pengembangan teknologi yang digunakan.

### 3.3 Penentuan Variabel dan Parameter

Variabel yang digunakan pada penelitian ini antara lain :

#### 1. Kuat Arus

Menurut Wang *et al.* (2015) salah satu parameter proses elektrodialisis adalah kuat arus. Kuat arus dapat mempengaruhi cepat dan tidaknya kation dan anion berpindah menuju ke katoda dan anoda. Removal fosfat mencapai 86,1% - 94,4% untuk

debit 40 ml/min dengan kuat arus optimum 1,4 A. Dari variasi kuat arus, maka akan diketahui kuat arus yang efektif untuk menyisihkan ion pengganggu. Pada penelitian ini variasi kuat arus yang digunakan adalah 0,5 A , 0,75 A dan 1 A.

## 2. Luas Permukaan Membran

Luasan penampang membran dapat mempengaruhi seberapa banyak ion-ion yang dapat berpindah dalam proses elektrodialisis. Variasi luas permukaan membran yang digunakan adalah 100 cm<sup>2</sup> dan 200 cm<sup>2</sup>.

Sedangkan parameter yang digunakan pada penelitian ini antara lain pH, konduktivitas Ca<sup>2+</sup>, PO<sub>4</sub><sup>3-</sup>, F<sup>-</sup> dan NH<sub>4</sub><sup>+</sup>. Berikut adalah Tabel 3.1 metode pengukuran setiap parameter.

**Tabel 3.1 Metode Pengukuran Setiap Parameter**

No	Parameter	Metode	Instrumen
1	pH		pH meter
2	Ion Ca <sup>+</sup>	AAS	AAS
3	Ion PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup>	Spektrofotometri	Spektrofotometer
4	Konduktivitas		Handy Lab LF 11
5	Ion F <sup>-</sup>	SPADNS	Spektrofotometer
6	Ion NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	Spektrofotometri	Spektrofotometer
7	Tegangan listrik sel		Multitester

## 3.4 Persiapan Penelitian

### 3.4.1 Penelitian Pendahuluan

Penelitian ini akan dimulai dengan dilaksanakannya penelitian pendahuluan. Penelitian pendahuluan ini bertujuan untuk memperoleh waktu operasi yang akan digunakan pada penelitian utama.

1. Penentuan waktu operasi elektrodialisis dengan *running* proses *batch*.

Melakukan percobaan dengan proses *batch*, untuk menentukan rentang waktu operasi efektif proses elektrodialisis. Proses *batch* dilakukan menggunakan sampel limbah air limbah Pabrik Fosfat. Aquabidest dan air limbah Pabrik Amonia sebagai pilihan larutan pada anoda dan katoda. Penelitian pendahuluan dilakukan dengan beberapa variasi waktu yaitu 2 jam, 3 jam, 4 jam, 5 jam dan 6 jam. Untuk melihat kemampuan berpindahnya anion dan kation dalam proses elektrodialisis.

2. Uji karakteristik air limbah  
Menganalisis pH, konduktivitas,  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{PO}_4^{3-}$ ,  $\text{F}^-$  dan  $\text{NH}_4^+$ . Pengecekan nilai pH air limbah untuk memastikan tidak akan terjadi pengendapan *struvite* secara spontan saat *pretreatment* berlangsung.
3. Tes kebocoran reaktor  
Melakukan tes kebocoran reaktor dengan mengalirkan air ke dalam reaktor untuk melihat adanya rembesan.

### 3.4.2 Persiapan Alat dan Bahan

Alat yang digunakan :

1. Reaktor dengan sistem *batch* yang terdiri dari dua reaktor dengan volume berbeda. Dimensi reaktor yang digunakan yaitu 20 cm x 5 cm x 2 cm dan 20 cm x 10 cm x 2 cm.
2. Membran  
Membran yang digunakan adalah *cation exchange membrane* (CEM/+) dengan tipe CMI 7000S dan *anion exchange membran* (AEM/-) dengan tipe AMI 7001S . Dimensi efektif membran 20 cm x 5 cm dan 20 cm x 10 cm. Spesifikasi membran yang digunakan disajikan pada Tabel 3.2.

**Tabel 3.2 Spesifikasi Membran yang Digunakan**

<b>Spesifikasi Teknik</b>	<b>CMI – 7000S</b>	<b>AMI-7001S</b>
Struktur Polimer	Gel polystyrene cross linked with divinylbenzene	Gel polystyrene cross linked with divinylbenzene
Functional Group	Sulphonic Acid	Quaternary Amonium
Warna	Brown	Light Yellow
Ketebalan (mm)	0,45±0,025	0,45±0,025
Luas Hambatan (ohm/cm <sup>2</sup> )	<30	<40
Densitas Arus Maksimal (A/m <sup>2</sup> )	<500	<500
Total Exchange Capacity (meq/g)	1,6±0,1	1,3±0,1
Stabilitas Temperatur Maksimal ( °C )	90	90

Sumber: Membranes International Inc

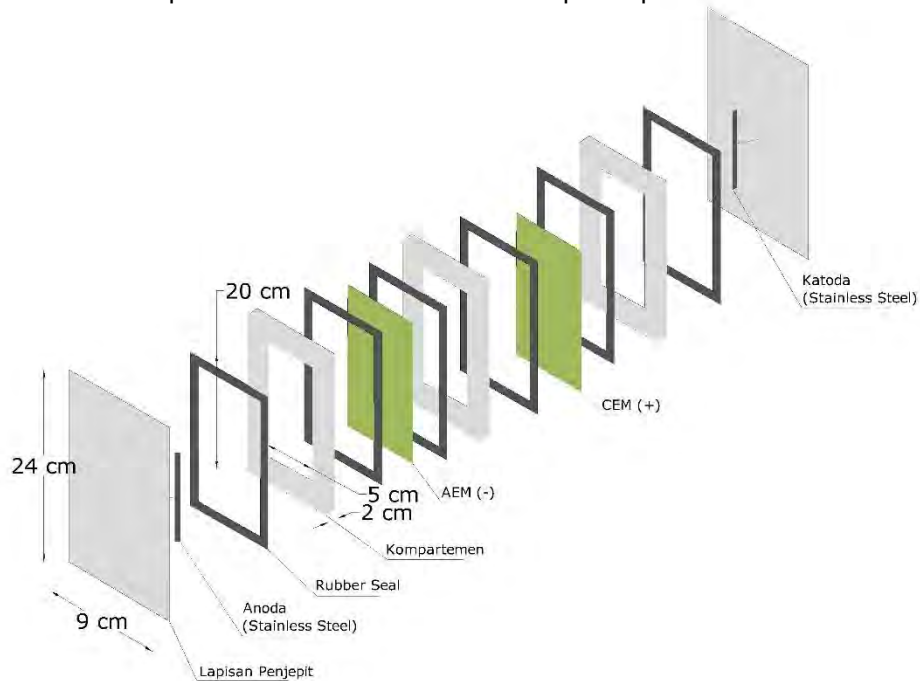
3. Elektroda  
Elektroda yang digunakan adalah stainless stell untuk anoda dan katoda dengan dimensi 5 x 4,8 cm. Elektroda pada anoda berongga, sedangkan elektroda pada katoda berbentuk lempengan.
4. Pompa Summersible  
Pompa summersible yang digunakan dengan kapasitas debit aliran 11.76 mL/ s.
5. Kabel
6. DC Power Supply  
DC *Adjustable Power Supply* yang digunakan adalah dengan arus listrik antara 0 -3 A dan tegangan antara 0-30 V. Alat ini berfungsi sebagai sumber listrik pada proses ED.

7. Selang  
Selang untuk pengaliran menggunakan selang dengan diameter dalam 3 mm.

Bahan yang digunakan :

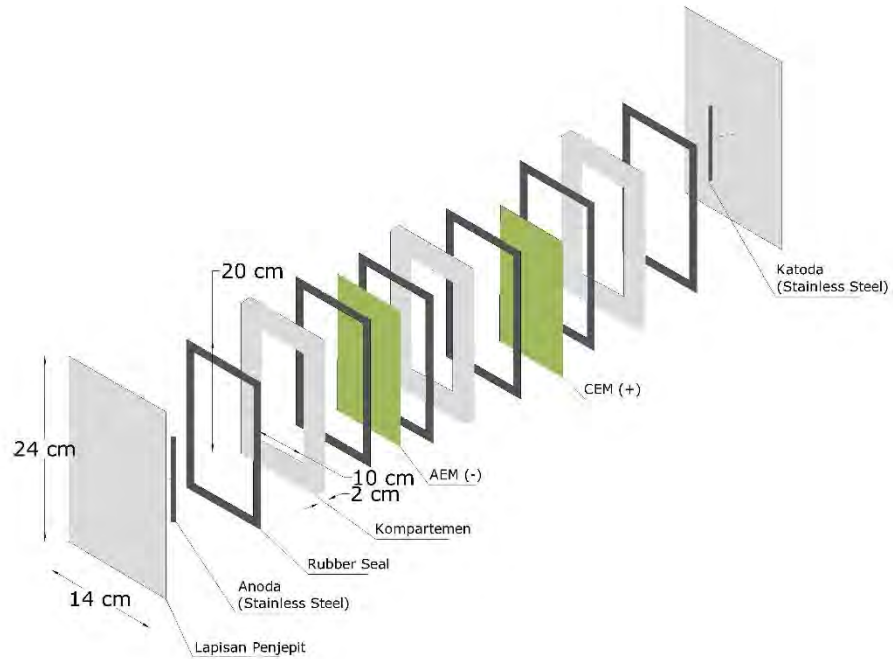
1. Air limbah pabrik fosfat PT Petrokimia Gresik sebagai air limbah yang diolah.
2. Air limbah pabrik amonia PT Petrokimia Gresik sebagai pengencer pada sisi anoda dan katoda. Volume air limbah yang digunakan untuk proses elektrodialisis dengan sistem batch ditentukan sebanyak 4 liter.
3. Aquades  
Digunakan sebagai pengencer larutan pada kompartemen anoda dan katoda pada penelitian pendahuluan

Konfigurasi susunan kompartemen sel elektrodialisis ditampilkan pada Gambar 3.2 dan 3.3.



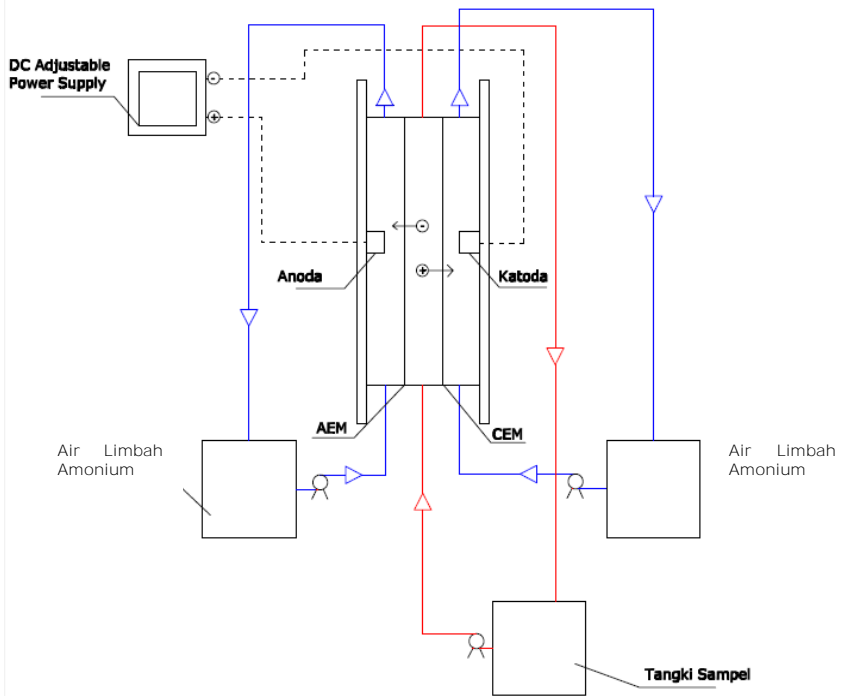
**Gambar 3.2 Konfigurasi Reaktor Variasi Luas Permukaan Membran 100 cm<sup>2</sup>**



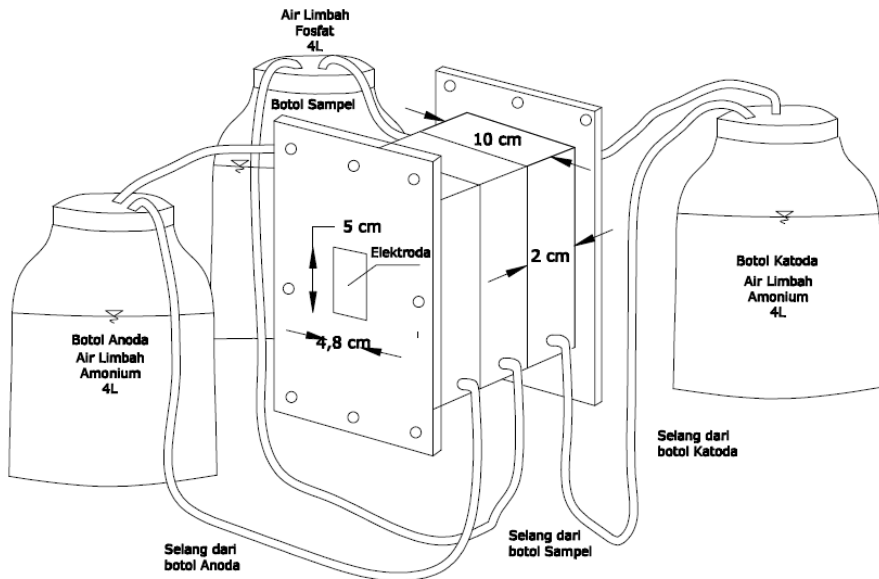


**Gambar 3.3 Konfigurasi Reaktor Variasi Luas Permukaan Membran 200 cm<sup>2</sup>**

Pada penelitian ini digunakan 3 kompartemen yang terdiri dari dua jenis membran yaitu *anion exchange membrane* dan *cation exchange membrane*. Tujuan dari proses elektrodialisis pada pra pengolahan ini adalah untuk menyisahkan kalsium sebagai ion pengganggu dan mendapatkan kembali fosfat murni (*phosphate recovery*). Gambar sistem elektrodialisis yang digunakan pada penelitian disajikan pada Gambar 3.4. Sedangkan gambar tiga dimensi reaktor disajikan pada Gambar 3.5.



**Gambar 3.4 Diagram Sistem Elektrodialisis**



**Gambar 3.5 Gambar Reaktor**

### 3.5 Penelitian Utama

Dalam penelitian utama, dilakukan pengamatan pada proses elektrodialisis yang telah direncanakan. Dua variabel yang digunakan yaitu kuat arus dan volume reaktor menghasilkan enam variasi sampel yang dihasilkan. Dalam penelitian ini, data diambil sebanyak dua kali (duplo) untuk variasi kuat arus pada luas permukaan membran efektif. Maka, data yang disajikan merupakan hasil rata-rata dengan besar standar deviasi 5%. Sampling dilakukan pada setiap pengamatan sebanyak lima kali pada lima titik variasi waktu. Waktu pengamatan ditentukan berdasarkan hasil dari penelitian pendahuluan. Data sampel yang didapat disajikan pada Tabel 3.4 dan 3.5.

Pada pengamatan ini, digunakan proses *batch* untuk dapat mengoptimalkan penyisihan ion fosfat dan fluorida. Volume air limbah yang digunakan pada satu siklus adalah 4 liter. Hal ini ditetapkan dengan mempertimbangkan jumlah sampel yang akan diambil selama proses berlangsung dan rasio antara volume total air limbah dan volume efektif reaktor. Pada

kompartemen anoda dan katoda, digunakan air limbah Pabrik Amonia dengan dua kali pengenceran sebagai pelarut. Digunakan air limbah Pabrik Amonia untuk memanfaatkan limbah lain yang ada di PT Petrokimia Gresik. Sehingga, proses pra pengolahan, tidak menimbulkan limbah baru. Selain agar tidak menambah jumlah limbah yang dihasilkan, air limbah Pabrik Amonia juga memiliki nilai konduktivitas yang mencukupi untuk proses elektrodialisis.

Pada prosesnya, air limbah akan dialirkan melalui bagian tengah kompartemen dan diresirkulasi. Sedangkan kompartemen bagian samping kiri dan kanan (anoda dan katoda) akan dialiri oleh air limbah pabrik amonia sebagai pelarut ion. Prinsip kerjanya adalah ion-ion negatif (anion) yang terkandung pada air limbah seperti  $\text{PO}_4^{3-}$  dan  $\text{F}^-$  akan tertarik ke bagian anoda melalui *anion exchange membrane* sedangkan ion-ion positif (kation) seperti  $\text{Ca}^{2+}$  dan  $\text{Mg}^{2+}$  akan tertarik ke bagian katoda dan melalui *cation exchange membrane*. Namun, diperkirakan ion fosfat tidak seluruhnya akan tertarik menuju anoda dikarenakan ion fosfat adalah ion trivalent (bermuatan 3). Menurut Bruggen (2003), non monovalent memiliki tendensi untuk berpindah lebih cepat daripada ion divalent pada proses elektrodialisis. Oleh karena itu sampling yang akan dilakukan selama pengamatan tercantum pada Tabel 3.3.

Pada penelitian ini juga dianalisis jenis unsur apa saja yang ada pada presipitat yang dihasilkan pada permukaan membran setelah proses elektrodialisis. Presipitat dianalisis menggunakan metode *Energy Dispersive X-ray* (EDX) dengan hasil analisis berupa persen berat yang kemudian dikonversi menjadi satuan konsentrasi (mg/L) untuk kemudian dihitung kesetimbangan massa masing-masing parameter yang diuji. Analisis EDX dilakukan di Laboratorium Divisi Karakterisasi Material Jurusan Teknik Material dan Metalurgi ITS dengan tiga titik pengamatan pada masing-masing sampel yang diuji. Dari ketiga hasil titik uji kemudian dihitung nilai rata-rata yang dijadikan sebagai hasil analisis EDX.

**Tabel 3.3 Pengambilan Sampel Setiap Satu Siklus Pengamatan  
(running)**

No	Lokasi	Volume Sampel (mL)	Tujuan Analisa	Frekuensi Pengambilan (kali)
1	Botol Sampel	20	Fosfat Fluor Amonium	5
		125	Kalsium	3
		10	pH Konduktifitas	5
2	Botol Katoda	125	Kalsium	3
		20	Amonium	5
		10	Konduktifitas pH	5
3	Botol Anoda	20	Fosfat Fluor	5
		10	Konduktifitas pH	5

### 3.6 Analisis dan Pembahasan

Analisis yang dilakukan dalam penelitian ini adalah :

1. Menganalisis variasi kuat arus dan luas permukaan membran terhadap efisiensi penyisihan ion fosfat, fluorida dan kalsium.

Sampel yang didapat dari kedua variasi ditampilkan pada Tabel 3.4.

**Tabel 3.4 Variasi Sampel Hasil Penelitian**

Luas permukaan membran/ Kuat Arus	0,5 A ( I )	0,75 A ( II )	1 A ( III )
100 cm <sup>2</sup> (A)	IA	IIA	IIIA
200 cm <sup>2</sup> (B)	IB	IIB	IIIB

Selama x jam proses elektrodialisis, diambil 4 sampel *time series*. Maka, data yang didapat adalah seperti yang disajikan pada Tabel 3.5.

**Tabel 3.5 Data Sampel Penelitian**

Variasi Sampel/ Td	t <sub>1</sub> ( 1 )	t <sub>2</sub> ( 2 )	t <sub>3</sub> ( 3 )	t <sub>4</sub> ( 4 )
IA	IA <sub>1</sub>	IA <sub>2</sub>	IA <sub>3</sub>	IA <sub>4</sub>
IB	IB <sub>1</sub>	IB <sub>2</sub>	IB <sub>3</sub>	IB <sub>4</sub>
IIA	IIA <sub>1</sub>	IIA <sub>2</sub>	IIA <sub>3</sub>	IIA <sub>4</sub>
IIB	IIB <sub>1</sub>	IIB <sub>2</sub>	IIB <sub>3</sub>	IIB <sub>4</sub>
IIIA	IIIA <sub>1</sub>	IIIA <sub>2</sub>	IIIA <sub>3</sub>	IIIA <sub>4</sub>
IIIB	IIIB <sub>1</sub>	IIIB <sub>2</sub>	IIIB <sub>3</sub>	IIIB <sub>4</sub>

2. Menganalisis kualitas effluen yang dihasilkan yaitu kadar akhir pH, konduktivitas, Ca<sup>2+</sup>, PO<sub>4</sub><sup>3-</sup>, F<sup>-</sup>, dan NH<sub>4</sub><sup>+</sup>.
3. Menentukan kondisi optimum penyisihan ion fosfat, fluorida dan kalsium dengan metode elektrodialisis.
4. Menganalisis kompetisi ion dalam proses elektrodialisis.
5. Menganalisis massa zat yang berpindah selama proses elektrodialisis sesuai dengan hukum Faraday I.
6. Menganalisis kebutuhan energi (kWh/m<sup>3</sup>) yang dibutuhkan untuk proses elektrodialisis.

## BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

### 4.1 Parameter dan Uji Karakteristik

Pada penelitian ini digunakan air buangan dari Pabrik III PT Petrokimia Gresik. Pabrik III terdiri dari beberapa unit produksi antara lain Pabrik Asam Fosfat, Pabrik Asam Sulfat, Pabrik *Cement Retarder* Pabrik Aluminium Fluorida dan Pabrik Za II. Dari unit produksi yang ada beberapa parameter yang perlu diketahui adalah fosfat, amonium, pH, fluorida, dan kalsium. Maka, dilakukan uji karakteristik limbah Pabrik III PT Petrokimia meliputi analisis fosfat, amonium, pH, fluorida, dan kalsium. Analisis karakteristik awal dilakukan oleh Balai Ristek dan Standarisasi Industri Surabaya dan beberapa parameter dilakukan analisis mandiri di Laboratorium Pemulihan Air Teknik Lingkungan ITS. Berikut pada Tabel 4.1 adalah karakteristik air limbah PT Petrokimia Gresik.

**Tabel 4.1 Karakteristik Limbah PT Petrokimia Gresik**

Jenis Limbah	Parameter Uji	Satuan	Hasil Uji *	Hasil Uji **
Fosfat (Pabrik III)	Magnesium (Mg)	mg/L	39,95	-
	Kalsium (Ca)	mg/L	20,05	-
	Fluorida (F)	mg/L	119,09	9722,17
	Fosfat (PO <sub>4</sub> )	mg/L	3591,25	4540,82
	pH		-	1,09
Amonium (Pabrik I) ***	Fosfat (PO <sub>4</sub> )	mg/L	-	0,09
	Fluorida (F)	mg/L	-	6,25
	Amonium (NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> )	mg/L	-	2533,78
	Kalsium (Ca)	mg/L	1,37	-
	pH		-	9,76

\*) Analisis Baristand \*\*) Analisis mandiri \*\*\*) Telah diencerkan 2x

Dari hasil analisis karakteristik air limbah Pabrik III diketahui bahwa kandungan fosfat awal 4540,82 mg/L. Baik analisis yang dilakukan oleh Baristand dan analisis mandiri menggunakan metode yang sama yaitu spektrofotometri. Secara fisik, air limbah Pabrik III tidak berwarna, sedikit keruh dan berbau tidak terlalu menyengat. Kandungan fluorida sebesar 9722,17 mg/L. Hasil analisis mandiri dianggap lebih representatif karena setelah dilakukan analisis kembali berulang kali, konsentrasi fluorida tidak jauh dengan besar konsentrasi yang didapatkan dari analisis mandiri. Nilai pH air limbah sangat rendah yaitu 1,09, oleh karenanya perlu diperhatikan dalam melakukan kontak langsung dengan air limbah selama penelitian. Kandungan magnesium dan kalsium masing-masing sebesar 39,95 mg/L dan 20,05 mg/L. Sedangkan karakteristik air limbah amonium yang digunakan sebagai larutan konsentrat pada anoda dan katoda secara fisik tidak jauh berbeda dengan air limbah fosfat, namun tidak terlalu keruh. pH air limbah amonium tergolong pH basa yaitu 9,76. Hasil karakterisasi air limbah amonium merupakan hasil setelah dilakukan dua kali pengenceran menggunakan aquadest. Pengenceran dilakukan karena konsentrasi amonium yang terlalu tinggi, sedangkan dalam proses ini air limbah amonium dimanfaatkan sebagai penghantar arus listrik dari anoda dan katoda. Konsentrasi amonium setelah dua kali pengenceran adalah 2533,78 mg/L. sedangkan konsentrasi fosfat dan fluorida rendah yaitu 0,09 mg/L dan 6,25 mg/L. Begitu juga dengan konsentrasi kalsium yaitu 1,37mg/L.

Analisis seluruh parameter dilakukan secara individu di Laboratorium Pemulihan Air Teknik Lingkungan ITS kecuali parameter kalsium dilakukan oleh Balai Ristek dan Standarisasi Industri Surabaya. Hal ini karena instrument pengukuran kalsium *Atomic Absorption Spectrofotometry* (AAS) tidak terdapat di Jurusan Teknik Lingkungan.



## 4.2 Penelitian Pendahuluan

Sebelum penelitian utama, dilakukan penelitian pendahuluan untuk memastikan konfigurasi yang dipilih untuk penelitian utama benar. Beberapa percobaan dilakukan antara lain percobaan menggunakan aquabidest sebagai larutan pengencer pada anoda dan katoda. Hasil dari percobaan ini adalah tidak ada arus listrik yang dihasilkan. Hal ini karena aquabidest hampir tidak mengandung ion, sehingga tidak ada konduktivitas pada aquabidest. Percobaan kedua dilakukan menggunakan aquabidest yang ditambahkan dengan larutan  $\text{KH}_2\text{PO}_4$  dengan konsentrasi 36 mg/L pada kompartemen anoda dan katoda. Konsentrasi dipilih menyesuaikan dengan konsentrasi magnesium pada air limbah fosfat. Hasil dari percobaan 2 adalah arus maksimal yang diciptakan sebesar 0,02 A dengan voltase sebesar 27,5 V. Percobaan ini dilakukan selama 2 jam dan sampling dilakukan setiap pertambahan waktu 30 menit. Pada percobaan 2 dibuktikan bahwa ion fosfat dapat berpindah dari air limbah menuju anoda, namun dalam jumlah yang sedikit. Larutan  $\text{KH}_2\text{PO}_4$  dengan konsentrasi 36 mg/L tidak dapat memberikan kuat arus lebih dari 0,02 A karena nilai konduktivitas yang rendah.

Sehingga untuk percobaan ketiga digunakan air limbah Pabrik Amonia PT Petrokimia Gresik dengan dua kali pengenceran sebagai larutan pengencer pada kompartemen anoda dan katoda. Arus listrik yang digunakan sebesar 1 A. Percobaan dilakukan selama 2 jam dan sampling dilakukan setiap pertambahan waktu 30 menit. Pada percobaan 3 konsentrasi fluorida dan fosfat menunjukkan adanya perpindahan ion dari larutan terkonsentrasi menuju larutan pengencer. Hal ini menunjukkan bahwa proses elektrodialisis berlangsung dengan baik. Begitu juga dengan penyisihan kalsium yang dibuktikan dengan bertambahnya konsentrasi kalsium pada katoda. Namun, pada percobaan ini, larutan pengencer pada anoda cepat berubah warna menjadi kuning yang diakibatkan oleh peluruhan besi pada elektroda lempeng. Oleh karena itu, elektroda pada anoda diganti dengan elektroda *stainless steel* berongga. Hasil konsentrasi fosfat pada air

limbah tidak stabil, diperlukan *stirrer* sehingga dapat meningkatnya homogenitas air limbah.

Dari hasil penelitian pendahuluan, maka ditentukan penelitian utama akan dilakukan sesuai dengan konfigurasi pada percobaan terakhir yaitu waktu proses elektrodialisis selama 6 jam, elektroda lempeng pada katoda, elektroda berongga pada anoda, air limbah fosfat diaduk secara kontinyu menggunakan *magnetic stirrer* serta larutan pada anoda ditambahkan asam lemah  $\text{H}_2\text{SO}_4$  untuk menjaga pH larutan pH = 8. Hal ini dilakukan agar fosfat yang berpindah ke kompartemen anoda tidak bereaksi dengan amonium. Pengambilan sampel dilakukan setiap pertambahan waktu 1,5 jam. Parameter yang dianalisis sesuai pada Tabel 3.1. Sedangkan variasi yang digunakan sesuai dengan Tabel 3.4.

#### **4.3 Pengujian Variasi Luas Permukaan Membran dan Kuat Arus.**

Air limbah yang digunakan dalam penelitian ini ada dua jenis yaitu air limbah Pabrik III sebagai air limbah yang diolah dalam proses elektrodialisis dan air limbah Pabrik I sebagai larutan pada kompartemen anoda dan katoda. Proses elektrodialisis dilakukan selama 6 jam dengan sistem *batch*. Setiap pertambahan waktu 90 menit dilakukan sampling sehingga diperoleh lima titik perubahan konsentrasi parameter. Air limbah Pabrik III yang digunakan setiap proses elektrodialisis adalah sebanyak 4 L. Sedangkan air limbah Pabrik I sebanyak 2 liter dan diencerkan hingga 4 L. Larutan pada anoda setelah diencerkan, ditambahkan dengan larutan  $\text{H}_2\text{SO}_4$  4 N untuk menurunkan pH. pH larutan anoda awal sebesar 9,78 diturunkan hingga pH berkisar 8-8,5 dengan penambahan volume asam sulfat berkisar 110 mL – 120 mL. Sebelum penambahan asam sulfat, volume larutan dikurangi 100 mL, sehingga setelah penambahan asam sulfat volume larutan tidak jauh berbeda yaitu berkisar 4,01 L – 4,02 L. Elektroda yang digunakan berbahan dasar *stainless steel*. *Stainless steel* merupakan jenis campuran besi yang tidak

mudah terkorosi atau berkarat seperti besi pada umumnya. Ada beberapa jenis *stainless steel* yang dibedakan berdasarkan pelapisan permukaannya. Jenis *stainless steel* yang digunakan pada penelitian ini adalah tipe 304. Jenis ini tidak terlalu cocok untuk digunakan pada larutan asam sulfat pada semua konsentrasi. Namun, tipe 304 tahan jika digunakan pada larutan asam fosfat. Pada penelitian ini digunakan *stainless steel* berongga sebagai anoda sedangkan pada katoda berbentuk lempeng. Hal ini karena elektroda jenis lempeng terlalu cepat mengalami oksidasi dibandingkan jenis berongga sehingga perubahan warna kuning pada anoda terjadi lebih cepat, sesuai dengan hasil pada penelitian pendahuluan.

Variasi yang digunakan dalam penelitian ini adalah luas permukaan membran dan kuat arus. Luas permukaan membran yang digunakan adalah  $20\text{ cm} \times 10\text{ cm} = 200\text{cm}^2$  dan  $20\text{ cm} \times 5\text{ cm} = 100\text{cm}^2$ . Sedangkan variasi arus listrik yang digunakan adalah 0,5 A, 0,75 A dan 1 A. Variasi yang dihasilkan sesuai dengan yang tertera pada Tabel 3.4

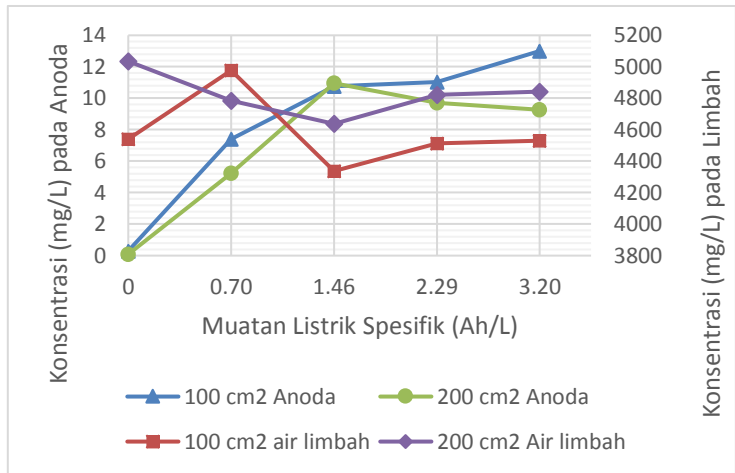
Material membran yang digunakan dalam penelitian ini adalah *polystyrene-divinylbenzene* yang memiliki beberapa karakteristik khusus antara lain memiliki selektivitas ionik yang tinggi, hambatan elektrik yang rendah, dan memiliki koefisien difusi yang rendah baik pelarut atau terlarut (Farrell *et al.*, 2003).

Pengujian variasi luas permukaan membran dibandingkan dengan muatan listrik spesifik dalam satuan Ah/L. Muatan listrik spesifik diperoleh dari persamaan rumus 2.5.

#### 4.3.1 Parameter Uji Fosfat ( $\text{PO}_4^{3-}$ )

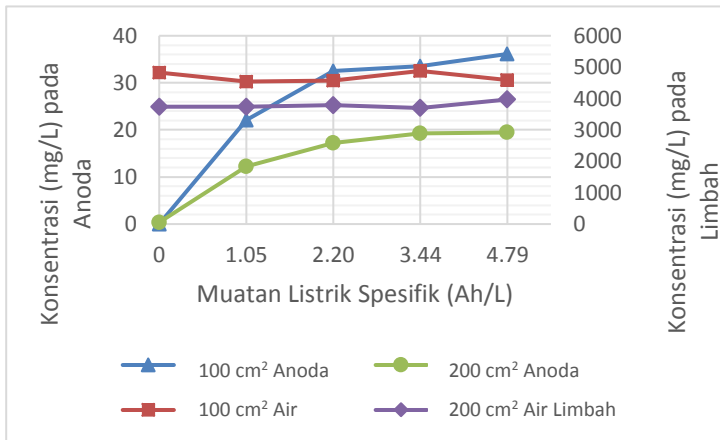
Fosfat sebagai parameter utama pada penelitian ini. Pada proses elektrodialisis, ion negatif yaitu fosfat akan tertarik menuju anoda melalui *anion exchange membrane*. Kandungan fosfat yang cukup besar pada air limbah membutuhkan waktu yang cukup lama untuk dapat memindahkan seluruh kandungan fosfat. Akan tetapi, penelitian dilakukan dalam skala laboratorium sehingga fosfat yang disisihkan tidak mencapai

100%. Ion fosfat akan berpindah menuju anoda bercampur dengan air limbah Pabrik Amonia PT Petrokimia Gresik. Perubahan konsentrasi fosfat dibandingkan dengan muatan listrik per liter yang diperoleh menggunakan persamaan rumus 2.7. Grafik konsentrasi  $\text{PO}_4^{3-}$  pada anoda dan air limbah dalam berbagai variasi disajikan pada gambar 4.1 , 4.2 dan 4.3

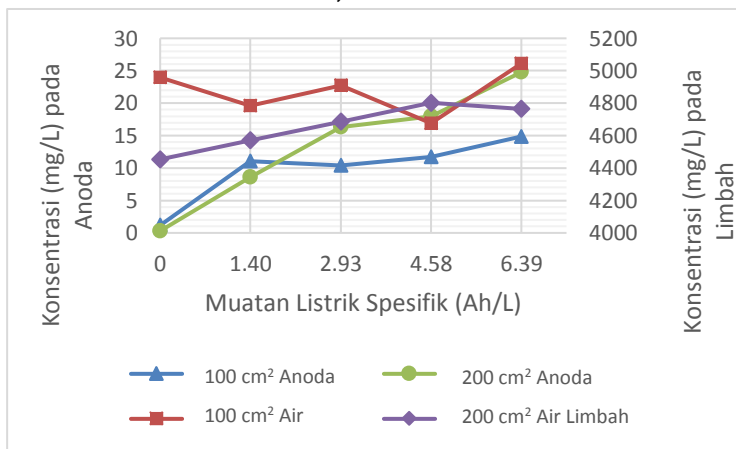


**Gambar 4.1 Grafik Konsentrasi  $\text{PO}_4^{3-}$  pada Variasi Kuat Arus 0,5 A.**

Pada dasarnya, konsentrasi fosfat pada anoda akan bertambah seiring dengan perpindahan ion fosfat menuju anoda. Muatan listrik spesifik semakin bertambah dengan bertambahnya lama waktu elektrodialisis berlangsung.



**Gambar 4.2 Grafik Konsentrasi  $\text{PO}_4^{3-}$  pada Variasi Kuat Arus 0,75 A.**



**Gambar 4.3 Grafik Konsentrasi  $\text{PO}_4^{3-}$  pada Variasi Kuat Arus 1 A.**

Dari ketiga grafik di atas dapat dilihat bahwa konsentrasi fosfat pada anoda untuk semua variasi cenderung meningkat, walaupun peningkatannya dalam angka yang kecil. Sedangkan konsentrasi fosfat pada air limbah pada prinsipnya akan

menurun, karena ion fosfat akan berpindah menuju katoda. Namun, dari hasil pengukuran, konsentrasi fosfat tidak menunjukkan penurunan yang konstan, melainkan ada hasil konsentrasi yang meningkat, seperti pada Gambar 4.1 dan 4.3. Hal ini karena pada beberapa titik pengambilan sampel yang kurang representatif sehingga hasil pengukuran kurang tepat.

Konsentrasi fosfat terbesar yang berpindah ke anoda pada variasi luas membran 100 cm<sup>2</sup> terjadi pada variasi arus listrik 0,75A yaitu dari konsentrasi fosfat 0,44 mg/L menjadi 30,69 mg/L. Kapasitas ion yang berpindah sebesar 0,307 mg/L/cm<sup>2</sup>. Sedangkan pada variasi luas membran 200 cm<sup>2</sup>, konsentrasi fosfat yang tersisihkan terbesar terjadi pada variasi arus listrik 1 A yaitu mencapai 24,78 mg/L. Kapasitas ion yang berpindah sebesar 0,124 mg/L/cm<sup>2</sup>. Sehingga dapat disimpulkan variasi luas membran 100 cm<sup>2</sup> dan arus listrik 0,75 A merupakan variasi yang efektif. Nilai konsentrasi selengkapnya dapat dilihat pada lampiran Tabel 7.1 dan 7.2. Sedangkan konsentrasi fosfat di air limbah cenderung tidak mengalami perubahan yang signifikan, karena konsentrasi fosfat yang berpindah hanya 1:100 dari total konsentrasi fosfat air limbah. Parameter fosfat diuji secara duplo untuk variasi luas permukaan membran 100 cm<sup>2</sup> pada semua variasi arus. Air limbah yang digunakan untuk proses duplo memiliki sedikit perbedaan karakteristik dari air limbah yang digunakan untuk penelitian utama. Oleh karena itu, pada pembahasan ini, dikaji perbedaan penyisihan dari kedua proses. Perbandingan hasil analisis proses duplo disajikan pada Tabel 4.2.

**Tabel 4.2 Perbandingan Hasil Analisis Fosfat Utama dan Duplo Variasi Luas Permukaan Membran 100 cm<sup>2</sup>**

Menit ke -	Q	PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup> Eksperimen 1		PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup> Eksperimen 2	
	Ah/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L
		Anoda	Air Limbah	Anoda	Air Limbah
0,5 A					
0	0	0,30	4540,82	0,55	4540,82
90	0,70	7,42	4976,79	13,50	4598,95

Menit ke -	Q	PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup> Eksperimen 1		PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup> Eksperimen 2	
	Ah/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L
		Anoda	Air Limbah	Anoda	Air Limbah
180	1,46	10,77	4337,37	25,22	4308,31
270	2,29	11,02	4511,76	25,47	4831,47
360	3,20	13,00	4531,13	30,98	4259,87
0.75 A					
0	0	0,44	4821,78	0,86	3126,36
90	1,05	18,24	4540,82	17,84	3562,32
180	2,20	25,06	4569,89	21,19	4453,63
270	3,44	27,82	4879,91	25,90	4395,50
360	4,79	30,58	4589,26	32,10	4424,56
1 A					
0	0	1,17	4957,41	1,88	4511,76
90	1,40	11,08	4783,02	16,29	4569,89
180	2,93	10,40	4908,97	21,56	4279,24
270	4,58	11,70	4676,46	23,29	4802,40
360	6,39	14,86	5044,60	27,70	4230,80

Dari hasil proses duplo, perpindahan fosfat pada anoda tertinggi ada pada variasi arus listrik 0,75 A sama halnya pada proses elektrodialisis utama. Konsentrasi fosfat terlarut rata-rata yang berpindah menuju anoda pada variasi luas membran 100 cm<sup>2</sup> mencapai 30,69 mg/L dengan kapasitas ion yang berpindah melalui membran sebesar 0,307 mg/L/cm<sup>2</sup>. Namun, hasil konsentrasi fosfat yang berpindah pada anoda dengan konsentrasi fosfat tidak setimbang karena ditemukan adanya anion-anion dalam fase tidak terlarut (presipitat) pada permukaan membran.

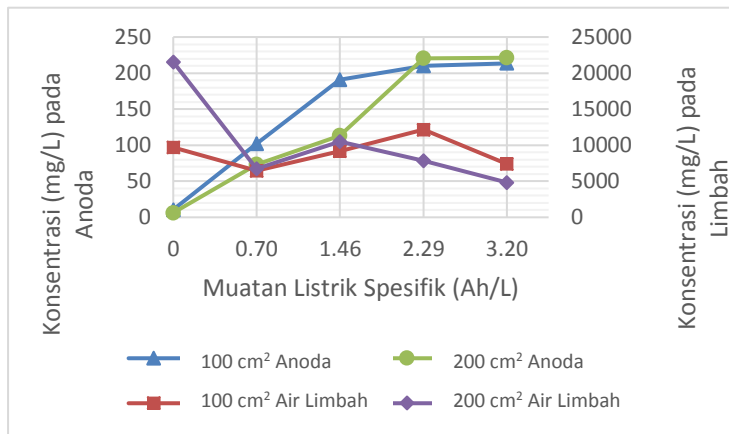
Metode penyisihan fosfat selain elektrodialisis adalah dengan pengendapan dalam bentuk kalsium fosfat. Kalsium

dan fosfat dapat berikatan pada kisaran pH 7 – 8.6. Konsentrasi kalsium turun seiring dengan proses pengendapan berupa kalsium fosfat. Namun, pada level konsentrasi fosfat tertentu, konsentrasi kalsium meningkat kembali. Hal ini berarti, endapan kalsium fosfat yang telah terbentuk kembali terlarut dalam larutan (Carlson *et al.*, 1997). Sedangkan dengan metode elektrodialisis, fosfat yang telah berpindah tetap dalam kondisi terlarut dan tidak dapat kembali lagi menuju kompartemen air limbah. Pada hal ini, perpindahan ion fosfat lebih lambat dibandingkan anion lain pada limbah yaitu ion fluorida. Karena ion fosfat merupakan anion trivalent dengan muatan ion negatif yang lebih banyak daripada ion fluorida (monovalent).

#### **4.3.2 Parameter Uji Fluorida ( $F^-$ )**

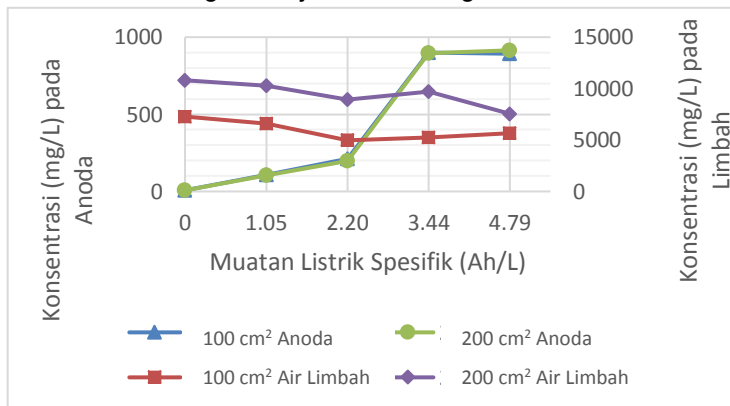
Fluorida menjadi salah satu parameter utama pada penelitian ini karena keberadaannya pada air limbah Pabrik Fosfat PT Petrokimia Gresik dalam jumlah yang besar. Fluorida berasal dari proses produksi aluminium fluorida pada yang merupakan salah satu unit produksi di Pabrik III PT Petrokimia Gresik. Fluorida ( $F^-$ ) pada proses ini sebagai ion monovalent yang berkompetisi dengan ion trivalent yaitu fosfat ( $PO_4^{3+}$ ). Nantinya akan dibahas mengenai kompetisi ion pada proses elektrodialisis. Sama halnya dengan parameter fosfat, parameter fluorida dibandingkan dengan muatan listrik spesifik pada larutan, sehingga tiap variasi arus listrik memiliki nilai muatan listrik spesifik yang berbeda. Pada gambar 4.4, 4.5 dan 4.6 ditampilkan grafik konsentrasi  $F^-$  pada anoda dan air limbah dalam berbagai variasi.



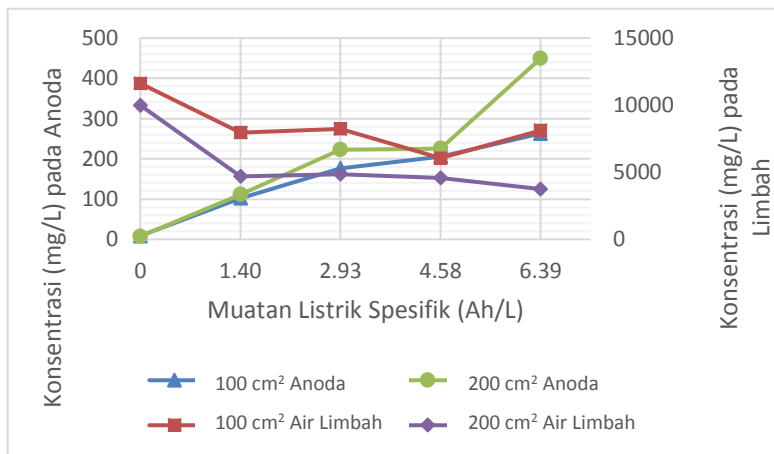


**Gambar 4.4 Grafik Konsentrasi  $F^-$  pada Variasi Arus Listrik 0,5 A.**

Konsentrasi ion fluorida pada anoda mengalami peningkatan yang signifikan pada variasi luas permukaan membran 100 cm<sup>2</sup> dan kuat arus 0,75 A. Peningkatan konsentrasi 7,21 mg/L menjadi 914,64 mg/L.



**Gambar 4.5 Grafik Konsentrasi  $F^-$  pada Variasi Arus Listrik 0,75 A.**



**Gambar 4.6 Grafik Konsentrasi F<sup>-</sup> pada Variasi Arus Listrik 1 A.**

Pada variasi luas permukaan membran 100 cm<sup>2</sup> konsentrasi perpindahan ion fluorida terbesar terjadi pada arus listrik 0,75 A yaitu 983,23 mg/L. Kapasitas ion yang berpindah melalui membran sebesar 9,83 mg/L/cm<sup>2</sup>. Sedangkan pada variasi luas permukaan membran 200 cm<sup>2</sup> konsentrasi perpindahan ion fluorida terbesar terjadi pada arus listrik 0,75 A yaitu 914,64 mg/L. Kapasitas ion yang berpindah melalui membran sebesar 4,57 mg/L/cm<sup>2</sup>. Maka, dapat disimpulkan perpindahan ion efektif terjadi pada luas membran 100 cm<sup>2</sup>.

Selain metode elektrodialisis, terdapat berbagai macam teknik defluoridasi pada air antara lain, secara kimiawi, pertukaran ion, penyisihan menggunakan membran, *reverse osmosis*, *nanofiltration*, dan adsorpsi (Rao dan Metre. 2014, Orlando *et al.*, 2002). Penyisihan fluorida dengan teknik adsorpsi menggunakan MgO sebagai adsorben memiliki kapasitas adsorpsi 185.5 mg/g. Namun kondisi ini dapat berkurang efektifitasnya dengan keberadaan ion PO<sub>4</sub><sup>3-</sup> (Jin *et al.*, 2016). Sehingga untuk fluorida pada air limbah pabrik fosfat PT Petrokimia Gresik metode adsorpsi kurang tepat karena keberadaan fosfat yang cukup tinggi.

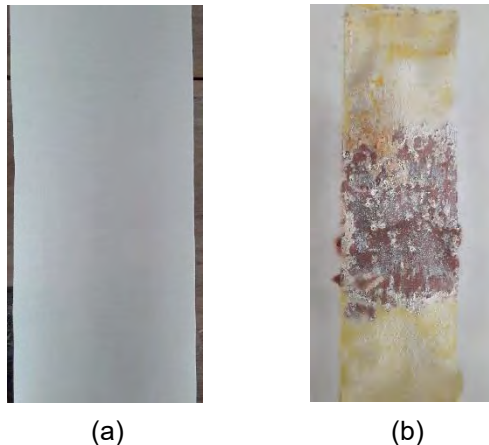
Parameter fluorida dianalisis secara duplo sama halnya dengan parameter fosfat. Proses duplo dilakukan pada variasi luas permukaan membran 100 cm<sup>2</sup> untuk semua variasi arus listrik. Pada Tabel 4.3 dicantumkan perbandingan hasil analisis proses duplo untuk parameter fluorida.

**Tabel 4.3 Perbandingan Hasil Analisis Fluorida Utama dan Duplo Variasi Luas Permukaan Membran 100 cm<sup>2</sup>**

Menit ke -	Q	F <sup>-</sup> Eksperimen 1		F <sup>-</sup> Eksperimen 2	
	Ah/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L
		Anoda	Air Limbah	Anoda	Air Limbah
0.5 A					
0	0	10,69	9722,17	0,50	11351,59
90	0,70	102,37	6463,34	110,63	16918,76
180	1,46	190,84	9179,04	220,38	8907,47
270	2,29	209,96	12166,30	994,31	18412,39
360	3,20	213,43	7413,84	1005,17	11487,37
0.75 A					
0	0	3,98	7278,05	0,50	19227,09
90	1,05	110,63	6599,13	112,80	15153,56
180	2,20	213,87	4969,71	217,78	32533,98
270	3,44	932,75	5241,28	965,34	20856,51
360	4,79	954,47	5648,64	1016,03	23979,55
1A					
0	0	8,52	11623,16	7,45	12166,30
90	1,40	101,94	7956,97	128,44	17597,68
180	2,93	176,06	8228,54	246,45	9586,39
270	4,58	204,94	6055,99	675,66	19091,31
360	6,39	262,88	8092,76	798,78	12166,30

Dari data diatas, perpindahan ion fluorida tertinggi terjadi pada variasi arus listrik 0,75 A. Sesuai dengan hasil analisis proses utama. Konsentrasi fluorida rata-rata yang berpindah menuju anoda mencapai 983,23 mg/L dengan kapasitas ion yang berpindah sebesar 9,83 mg/L/cm<sup>2</sup>.

Namun, dari hasil konsentrasi yang tercatat pada anoda tidak setimbang dengan besar penyisihan fluorida pada air limbah seperti yang terjadi pada penyisihan parameter fosfat. Hal ini dapat disebabkan karena adanya anion-anion yang menempel di sekitar permukaan membran seperti pada Gambar 4.7 di bawah ini.

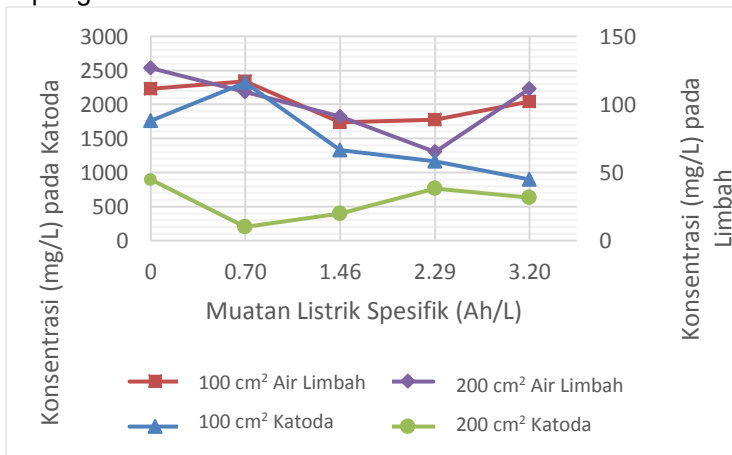


**Gambar 4.7 (a) Membran Anion Sebelum Digunakan (b) Anion yang Tersisih sebagai Presipitat pada Membran Anion Setelah Digunakan**

#### **4.3.3 Uji Parameter Amonium ( $\text{NH}_4^+$ )**

Parameter amonium diukur sebagai parameter tambahan dalam proses elektrodialisis. Hal ini karena pada penelitian ini memanfaatkan air limbah Pabrik I (pabrik amonia) PT Petrokimia Gresik sebagai larutan konsentrat pada anoda dan katoda. Keberadaan amonium sebagai

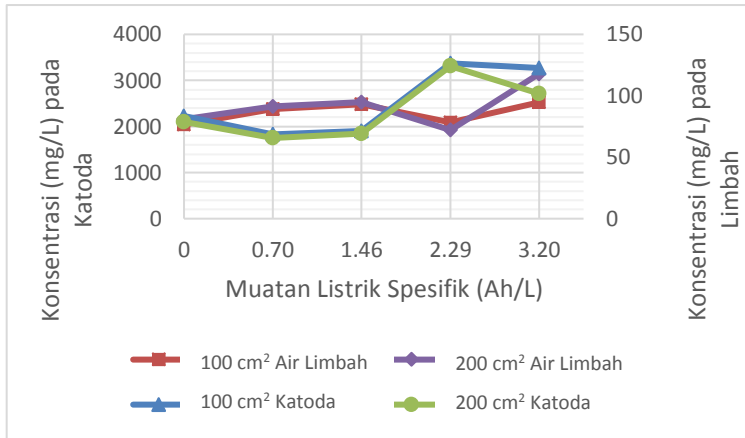
parameter digunakan sebagai acuan bahwa proses elektrodialisis berjalan dengan baik. Konsentrasi amonium pada katoda akan bertambah dengan berpindahnya kandungan amonium sebagai kation pada larutan di katoda. Amonium yang bermuatan positif tertarik menuju katoda yang bermuatan negatif. Walaupun larutan konsentrat pada anoda juga merupakan air limbah pabrik amonia, namun tidak diukur konsentrasinya karena konsentrasi amonium pada anoda tidak dipengaruhi oleh proses elektrodialisis. Anoda sebagai sumber listrik bermuatan positif tidak menarik amonium sebagai ion positif. Nilai konsentrasi amonium dapat dilihat pada Tabel 7.5 dan 7.6 di bagian lampiran. Pada Gambar 4.8, 4.9 dan 4.10 adalah hasil pengukuran konsentrasi amonium.



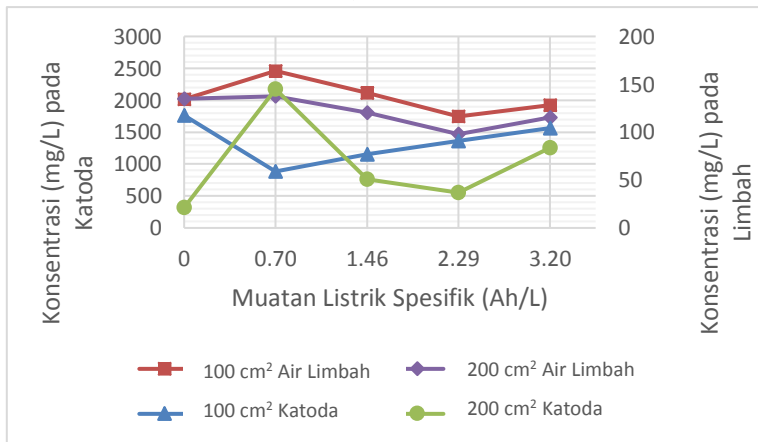
**Gambar 4.8 Grafik Konsentrasi  $\text{NH}_4^+$  pada Variasi Arus Listrik 0,5 A.**

Dari grafik diatas, dapat dilihat bahwa konsentrasi amonium pada katoda untuk luas permukaan membran 200 cm<sup>2</sup> cenderung meningkat sesuai dengan prinsip elektrodialisis. Dimana kation akan berpindah melalui membran penukar kation (*cation exchange membrane*). Sama halnya dengan parameter yang lain, nilai konsentrasi dibandingkan dengan

besar muatan listrik spesifik dalam satuan Ah/L yang mewakili besar muatan listrik yang dihantarkan pada setiap 1 liter larutan dalam satuan waktu.



**Gambar 4.9 Grafik Konsentrasi  $\text{NH}_4^+$  pada Variasi Arus Listrik 0,75 A.**



**Gambar 4.10 Grafik Konsentrasi  $\text{NH}_4^+$  pada Variasi Arus Listrik 1 A.**

Konsentrasi amonium pada katoda cenderung meningkat, sesuai dengan kaidah proses elektrodialisis. Namun, di beberapa titik sampling konsentrasi amonium turun. Sedangkan konsentrasi amonium di air limbah cenderung tetap tidak berubah. Hal ini karena pengampilan sampel yang kurang homogen. Pada wadah katoda tidak diberi *magnetic stirrer* sehingga tingkat homogenitas larutan kurang.

#### 4.3.4 Uji Parameter Kalsium ( $\text{Ca}^{2+}$ )

Ion kalsium pada air limbah pabrik fosfat berasal dari produk samping *slurry gypsum* ( $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ) pada proses pembuatan asam fosfat (Muhammad dan Hanani, 2014). Ion kalsium menjadi salah satu parameter yang diukur karena selain untuk menyisihkan anion yaitu fosfat dan fluorida, pada proses elektrodialisis juga akan menyisihkan kalsium. Mengacu pada pemanfaatan dari hasil penelitian ini, yaitu untuk memberikan rekomendasi pengolahan air limbah fosfat dan amonia menggunakan metode pengendapan *struvite*.

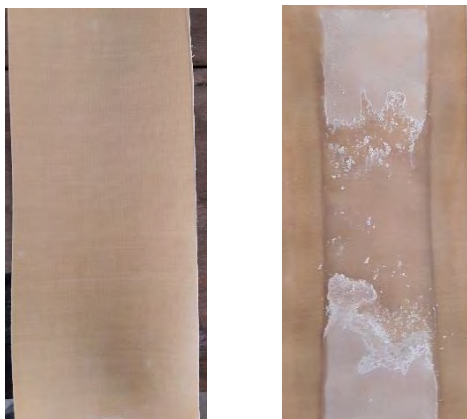
Menurut Le Corre *et al.* (2005), adanya ion  $\text{Ca}^{2+}$  pada air limbah dapat mempengaruhi proses pengendapan *struvite*. Ion  $\text{Ca}^{2+}$  bereaksi secara efektif dengan ion fosfat membentuk kalsium fosfat atau kalsium karbonat. Rata-rata dari pengambilan sampel di setiap proses elektrodialisis yang dilakukan dalam penelitian ini, konsentrasi kalsium pada air limbah Pabrik Fosfat sebesar 132,64 mg/L. Pada rasio molar Ca/P kurang dari 0,5 dan  $\text{pH} < 9,2$ , *struvite* yang akan terbentuk adalah *struvite* murni (Wang *et al.*, 2005). Sehingga untuk konsentrasi kalsium pada air limbah yang digunakan pada penelitian ini tidak memberikan pengaruh yang signifikan dalam proses pengendapan *struvite*. Hal ini karena perbandingan konsentrasi kalsium dan fosfat kurang dari 0,5. Namun, dengan dilakukan proses elektrodialisis konsentrasi kalsium yang ada akan lebih berkurang. Perubahan konsentrasi kalsium selama proses elektrodialisis disajikan pada Tabel 4.4.

**Tabel 4.4 Perubahan Konsentrasi Kalsium**

Waktu (menit)	Kalsium (mg/L)								
	100 cm <sup>2</sup>						200 cm <sup>2</sup>		
	0.5 A		0.75 A		1:00 AM		0.5 A	0.75 A	1 A
	utama	duplo	utama	duplo	utama	duplo	utama	utama	utama
	Air Limbah								
180	159,95	9	74,39	10,01	152,88	9	140,76	156,05	72,69
360	152,92	9	64,4	10	133,03	9	134,88	139,24	64,06
	Katoda								
180	6,91	0,25	5,99	0,25	6,44	0,25	3,49	7,29	4,98
360	8,33	0,25	7,52	0,15	7,95	0,15	4,53	7,45	3,21

Konsentrasi kalsium yang berpindah dan kalsium yang tersisa tidak seimbang. Sama halnya yang terjadi pada konsentrasi fluorida. Ion kalsium yang telah berpindah melalui membrane kation menempel di sekitar permukaan membran. Membran penukar kation (*cation exchange membrane*) berwarna coklat, setelah digunakan untuk proses elektrodialisis, terbentuk presipitat berwarna putih di sekitar membran yang diindikasikan sebagai kalsium dan beberapa kation lain. Hal ini terjadi karena adanya perbedaan nilai pH antara air limbah dan larutan pada katoda. Air limbah fosfat memiliki pH asam yaitu 1,09 – 1,28 sedangkan pH larutan pada sisi katoda 9,71 - 9,75. Sehingga memungkinkan terjadinya perubahan fase ion kalsium terlarut berubah menjadi fase padat berupa presipitat. Oleh karenanya, pada pembahasan kesetimbangan massa akan dibuktikan dengan analisis EDX (*Energy Dispersive X-ray*). untuk mengetahui unsur apa saja yang ada sebagai presipitat di permukaan membran penukar kation. Membran penukar kation sebelum dan setelah digunakan untuk proses elektrodialisis seperti pada Gambar 4.11



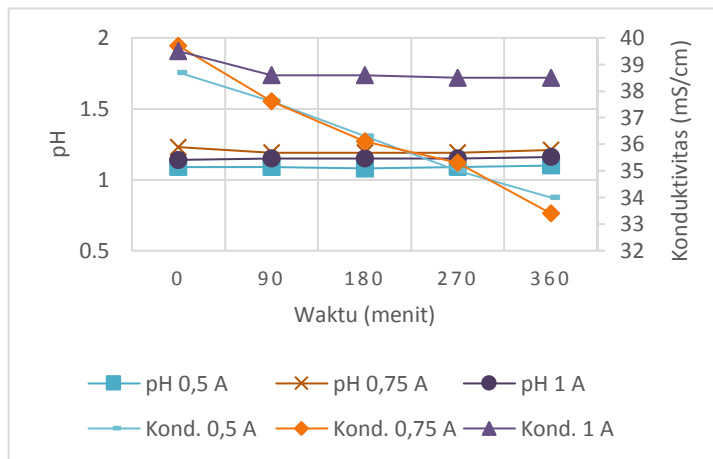


(a) (b)  
**Gambar 4.11 (a) Membran Kation Sebelum Digunakan. (b) Kation yang Tersisihkan sebagai Presipitat pada Membran Kation Setelah Digunakan**

Timbulnya presipitat pada permukaan membran baik pada membran kation maupun anion merupakan hal yang tidak diharapkan pada penelitian ini. Karena dengan adanya presipitat pada membran memungkinkan juga adanya endapan pada larutan anoda dan katoda, sehingga pengukuran parameter yang dilakukan tidak representatif. Metode pengukuran parameter yang digunakan hanya dapat mengukur parameter dalam fase terlarut yaitu dengan metode spektrofotometer. Pada penelitian selanjutnya, perlu ditambahkan metode untuk mengontrol nilai pH pada larutan sehingga fase ion yang diukur tetap dalam fase terlarut. Hal ini mengacu pada karakteristik masing-masing parameter terhadap nilai pH. Dari penelitian ini, ion katoda lebih banyak ditemukan sebagai fase presipitat setelah berpindah menuju larutan katoda yang memiliki pH 9,71 – 9,75. Sedangkan pada air limbah fosfat dengan pH 1,09 – 1,28 lebih banyak ditemukan dalam fase terlarut. Maka, perlu pengontrolan nilai pH pada larutan katoda dibawah nilai 9,71 agar ion kalsium tetap ditemukan dalam fase terlarut.

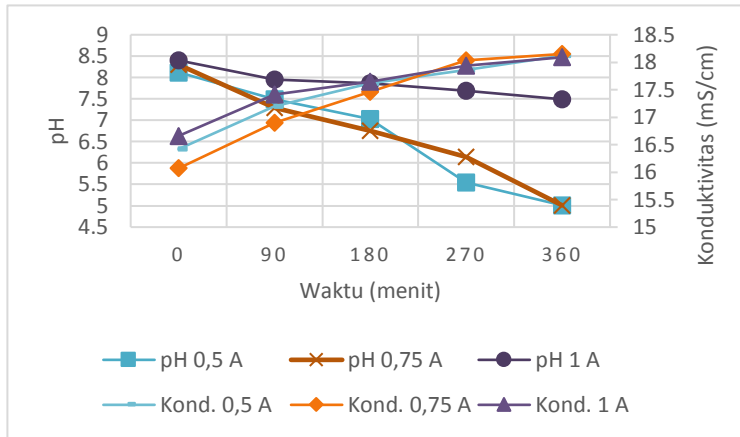
#### 4.3.5 Uji Parameter pH dan Konduktivitas

Konduktivitas dan pH menjadi salah satu parameter penting dalam penelitian ini. pH pada anoda turun karena adanya proses oksidasi  $\text{H}_2\text{O} \rightarrow 2\text{H}^+ + \frac{1}{2} \text{O}_2(\text{g}) + 2\text{e}$ . Sedangkan pH air limbah dan katoda cenderung tetap. Nilai konduktivitas sangat penting untuk diketahui sebagai parameter kemampuan larutan untuk dapat menghasilkan arus listrik. Konduktivitas pada anoda akan bertambah seiring dengan berjalannya proses elektrodialisis karena adanya tambahan ion-ion negatif yang berpindah menuju anoda. Grafik perubahan nilai pH dan konduktivitas disajikan pada gambar 4.12, 4.13 dan 4.14 di bawah ini.



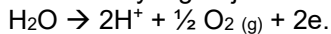
**Gambar 4.12 Grafik pH dan Konduktivitas pada Air Limbah dengan Membran 200 cm<sup>2</sup>.**

pH pada air limbah tidak mengalami perubahan karena air limbah yang terletak di kompartemen tengah tidak mengalami reaksi oksidasi maupun reaksi lainnya. Begitu pula dengan nilai konduktivitas, tidak mengalami perubahan.

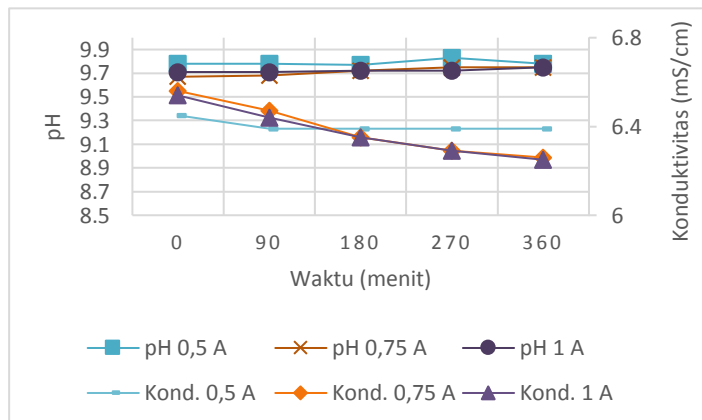


**Gambar 4.13 Grafik pH dan Konduktivitas pada Anoda dengan Membran 200 cm<sup>2</sup>.**

pH di anoda menurun karena adanya reaksi oksidasi di anoda. Reaksi oksidasi yang terjadi sebagai berikut :

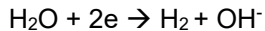


Sebelumnya pH di anoda diturunkan dengan menambahkan H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 4 N untuk mencegah terjadinya reaksi antara fosfat dan amonium pada pH lebih dari 8.



**Gambar 4.14 Grafik pH dan Konduktivitas pada Katoda dengan Membran 100 cm<sup>2</sup>.**

Pada katoda, nilai pH tidak berubah signifikan. Sedangkan konduktivitas cenderung menurun karena adanya ion  $\text{OH}^-$  sebagai hasil reaksi reduksi. Reaksi reduksi yang terjadi pada katoda sebagai berikut :



#### 4.4 Keseimbangan Massa Parameter Uji

Dari beberapa penjelasan di atas, dapat terlihat bahwa konsentrasi parameter yang tersisihkan dan yang masih tersisa tidak setimbang. Hal ini terjadi karena hanya konsentrasi zat terlarut yang terukur pada analisis parameter. Sedangkan, pada proses elektrodialisis terdapat ion-ion yang tersisihkan melalui membran kation maupun anion dan berubah fase sebagai presipitat. Sehingga dalam analisis parameter tidak dapat terukur. Beberapa ion yang berpindah melalui membran seperti kalsium, fosfat dan fluorida tidak seluruhnya terlarut setelah bercampur dengan larutan konsentrat baik pada anoda dan katoda. Karena adanya perbedaan nilai pH pada larutan konsentrat dan larutan utama (air limbah Pabrik III). Pada Tabel 4.5, 4.6 dan 4.7 disajikan keseimbangan masing-masing massa parameter uji.

**Tabel 4.5 Keseimbangan Massa Parameter Uji Fosfat**

Luas Membran (cm <sup>2</sup> )	100		100		200		100	
Arus Listrik (A)	0.5 A		0.75 A				1. A	
Konsentrasi	Fosfat		Fosfat		Fosfat		Fosfat	
	mg/l	%	mg/l	%	mg/l	%	mg/l	%
Awal	4540,82	100%	4821,78	100%	3736,71	100%	4511,76	100%
Akhir	4259,87	93,81%	4589,26	95,18%	3697,96	98,96%	4230,80	93,77%
Terlarut di anoda	30,43	0,67%	36,11	0,75%	19,09	0,51%	25,82	0,57%
Presipitat	26,07	0,57%	0,00	0,00%	31,84	0,85%	46,09	1,02%
Loss	224,45	4,94%	196,41	4,07%	-12,17	-0,33%	209,05	4,63%

**Tabel 4.6 Keseimbangan Massa Parameter Uji Fluorida**

Luas Membran (cm <sup>2</sup> )	100		100		200		100	
Arus Listrik (A)	0.5 A		0.75 A				1. A	
Konsentrasi	Fluor		Fluor		Fluor		Fluor	
	mg/l	%	mg/l	%	mg/l	%	mg/l	%
Awal	11351,6	100%	7278,05	100%	10808,45	100%	12166,3	100%
Akhir	8907,47	78,47%	5648,64	77,61%	7549,62	69,85%	9586,39	78,79%
Terlarut di anoda	1004,67	8,85%	885,47	12,17%	907,43	8,40%	791,32	6,50%
Presipitat	7,61	0,07%	10,46	0,14%	3,49	0,03%	7,79	0,06%
Loss	1431,84	12,61%	733,49	10,08%	2347,91	21,72%	1780,80	14,64%

**Tabel 4.7 Keseimbangan Massa Parameter Uji Kalsium**

Luas Membran (cm <sup>2</sup> )	100		100		200		100	
Arus Listrik (A)	0.5 A		0.75 A				1. A	
Konsentrasi	Kalsium		Kalsium		Kalsium		Kalsium	
	mg/l	%	mg/l	%	mg/l	%	mg/l	%
Awal	84,98	100%	41,695	100%	156,05	100%	72,69	100%
Akhir	81,46	96%	36,7	88,02%	139,24	89,23%	64,06	88%
Terlarut di Katoda	0,66	0,78%	0,76	1,83%	0,16	0,10%	-1,77	-2,43%
Presipitat	19,18	23%	20,48	49%	15,23	10%	22,17	31%
Loss	-16,32	-19%	-16,25	-39%	1,42	1%	-11,77	-16%

Perhitungan konsentrasi parameter fosfat, fluorida dan kalsium sebagai presipitat didapat dari hasil analisis EDX (*Energy Dispersive X-ray*). Analisis EDX dilakukan di tiga titik untuk setiap presipitat yang ada pada membran anion maupun kation, sehingga diambil nilai rata-rata dari ketiganya. Nilai yang didapat dari hasil analisis EDX adalah nilai persen berat masing-masing unsur. Kemudian persen berat dikonversi menjadi satuan konsentrasi dengan perhitungan seperti dibawah ini.

Contoh konsentrasi F pada variasi luas membran 200 cm<sup>2</sup> dan arus listrik 0,75 A :

%berat rata-rata F = 3,83%

(Lihat Lampiran

analisis EDX)

$$\begin{aligned}\text{Berat presipitat} &= 0,3645 \text{ g} \\ \text{Berat F} &= 3,83\% \times 0,3645 \text{ g} \\ &= 0,01396 \text{ g}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Mol F} &= \frac{\text{Berat}}{\text{Ar}} \\ &= \frac{0,01396}{19} \\ &= 0,0007347 \text{ mol}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Molaritas F} &= \frac{\text{Mol}}{\text{Volume}} \\ &= \frac{0,0007347 \text{ mol}}{4 \text{ liter}} \\ &= 0,0001836\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{mg/L F} &= \text{Molaritas} \times \text{Ar} \times 1000 \text{ mg} \\ &= 0,0001836 \times 19 \times 1000 \\ &= 3,49 \text{ mg/L}\end{aligned}$$

Dari data diatas, setiap parameter memiliki persentase massa yang hilang. Kemungkinan alasan adanya massa yang hilang adalah karena proses pengambilan sampel pada setiap pertambahan waktu kurang homogen. Tidak ada proses pengadukan selama proses berlangsung pada botol anoda dan katoda. Pengadukan hanya dilakukan pada wadah larutan utama (air limbah Pabrik III) sebagai *feed* dalam proses elektrodialisis. Pada halaman lampiran hasil analisis laboratorium untuk uji EDX pada membran penukar anion dapat dilihat keberadaan ion Fe yang merupakan hasil dari proses peluruhan elektroda pada anoda. Unsur P dan O adalah yang menjadi fokus utama yang diperhatikan. Fosfat yang tidak terlarut pada membran mencapai 127,36 mg/L pada variasi luas membran 200 cm<sup>2</sup> dan tidak ditemukan adanya unsur P sebagai presipitat pada variasi membran 100 cm<sup>2</sup>. Unsur F yang tidak terlarut pada membran anion hanya mencapai 41,82 mg/L. Ion fluorida yang tersisihkan lebih banyak dalam fase terlarut, sedangkan ion fosfat lebih banyak dalam fase tidak terlarut (Lihat Tabel 4.3). Sedangkan pada membran katoda banyak ditemukan unsur Ca mencapai 20,48 mg/L pada variasi luas

membran  $100\text{cm}^2$  dan arus listrik 0,75 A. Parameter Ca yang tersisihkan lebih banyak dalam bentuk presipitat dibandingkan dengan yang terlarut. Didapati nilai persentase kalsium minus, yang berarti bahwa terdapat konsentrasi ion berlebih pada yang tersisihkan daripada konsentrasi kalsium yang ada. Hal ini merupakan eror yang terjadi pada pengukuran kadar kalsium yang terlarut pada katoda. Hal ini terjadi karena homogenitas larutan pada katoda yang kurang saat pengambilan sampel. Pengadukan yang dilakukan tidak secara kontinyu melainkan hanya oada saat akan diambil sampel. Oleh karenanya, untuk saran kedepan, pengadukan secara kontinyu sangat diperlukan untuk semua larutan baik pada air limbah sebagai *feed*, anoda ataupun pada katoda. Konsentrasi selengkapny dapat dilihat pada hasil analisis di lampiran

#### 4.5 Kompetisi Ion pada Proses Elektrodialisis

Elektrodialisis merupakan proses dimana ion – ion akan berpindah melalui sebuah membran *permeable* dari suatu larutan ke larutan lain (Kabay, 2006). Saat *Direct Current* (DC) *Supply* diaktifkan, maka ion positif akan berpindah menuju katoda melalui *cation exchange membrane*. Sebaliknya, ion-ion negatif akan berpindah menuju anoda melalui *anion exchange membrane*. Pada hal ini ion positif dalam proses adalah kalsium ( $\text{Ca}^{2+}$ ) dan amonium ( $\text{NH}_4^+$ ), sedangkan ion negatif adalah fosfat ( $\text{PO}_4^{3-}$ ) dan fluorida ( $\text{F}^-$ ). Terdapat dua jenis anion pada proses ini yaitu trivalent dan monovalent, dan dua jenis kation yaitu divalent dan monovalent. Perbandingan perpindahan anion trivalent dan monovalent dapat dilihat pada Tabel 4.8.

**Tabel 4.8 Perbandingan Perpindahan Anion Trivalent dan Monovalent**

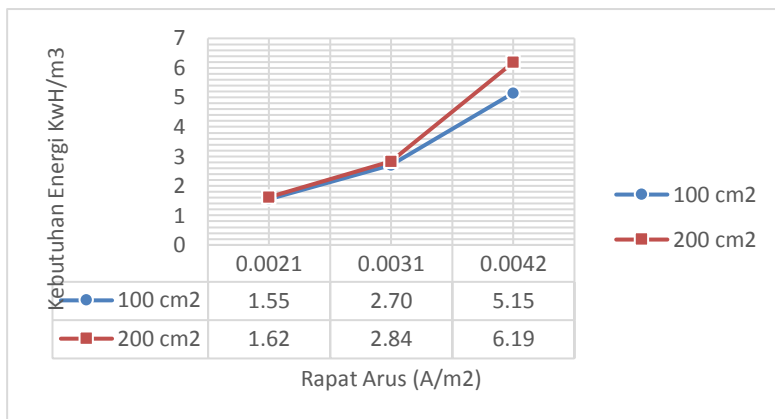
Kuat Arus (A)	Luas Membran (cm <sup>2</sup> )	Rapat Arus (A/m <sup>2</sup> )	PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup> (mg/L)	F <sup>-</sup> (mg/L)
0,5	100	0,0021	12,70	202,74
0,75		0,0031	13,69	254,36
1		0,0042	36,11	885,47
0,5	200	0,0021	9,20	215,00
0,75		0,0031	24,48	442,24
1		0,0042	19,09	907,43

Dari tabel diatas disimpulkan bahwa anion monovalent berpindah lebih cepat daripada anion trivalent di semua variasi arus listrik dan luas permukaan membran.

#### 4.6 Kebutuhan Energi

Kelayakan suatu proses selain dilihat dari aspek teknis juga perlu dilihat dari aspek ekonomi. Dari aspek teknis, kelayakan proses elektrodialisis pada penelitian ini dapat dilihat dari tingkat efisiensi penyisihan parameter yang diinginkan. Sedangkan dari aspek ekonomi dapat dilihat dari tingkat kebutuhan energi. Kebutuhan energi dapat dihitung menggunakan persamaan 2.7 dan 2.8. Pada Gambar 4.17 ditampilkan grafik perbandingan kebutuhan energi dan rapat arus.





**Gambar 4.17 Grafik Perbandingan Kebutuhan Energi dan Rapat Arus**

Kebutuhan energi berbanding lurus dengan rapat arus yang dihasilkan pada masing-masing variasi proses elektrodialisis. Namun, kebutuhan energi yang dibutuhkan pada proses elektrodialisis dengan luas permukaan membran 200 cm<sup>2</sup> lebih besar dibandingkan menggunakan membran dengan luas permukaan 100 cm<sup>2</sup>. Dari hasil perhitungan massa zat yang dihasilkan, dapat disimpulkan bahwa pada arus listrik 0,75 A dan kebutuhan energi yang diperlukan 2,70 kWh/m<sup>3</sup> mampu menghasilkan massa zat yang lebih besar dibandingkan dengan penggunaan variasi arus listrik lainnya untuk kedua variasi luas permukaan membran. Peningkatan kebutuhan energi yang signifikan pada variasi arus listrik 1 A tidak sebanding dengan massa zat yang berhasil dipindahkan. Sehingga disimpulkan, penambahan besar arus listrik diatas 0,75 A untuk penelitian skala laboratorium tidak efektif.

#### 4.7 Pemanfaatan Proses Elektrodialisis

Kondisi eksisting pengolahan air limbah dari pabrik fosfat PT Petrokimia Gresik, diolah dengan proses koagulasi flokulasi dengan menambahkan sumber kalsium (Ca) sebagai koagulan.

Sumber kalsium (Ca) ditambahkan dan kemudian akan berikatan dengan fosfat membentuk  $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$  dan berikatan dengan fluorida membentuk  $\text{CaF}_2$ . Lumpur yang dihasilkan dari proses kogulasi flokulasi ini dimanfaatkan sebagai *filler* pupuk. Namun, masih belum ada pengolahan air limbah pabrik amonium. Sejumlah air limbah dari pabrik amonium dimanfaatkan untuk proses produksi pabrik lain. Dari penelitian ini, penulis memberikan alternatif pengolahan air limbah amonium dengan memanfaatkan air limbah fosfat yang ada. Sehingga, selain pengolahan secara koagulasi flokulasi yang menghasilkan produk berupa *filler* pupuk, juga dapat menghasilkan produk lain berupa *struvite* dengan mencampurkan air limbah fosfat dan amonium. *Struvite* ( $\text{MgNH}_4\text{PO}_4 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ ) atau magnesium amonium phosphate hexahydrate adalah garam terlarut yang dapat digunakan sebagai pupuk (Saidou *et al.*, 2015). Pada pengolahan air limbah, pengendapan *struvite* dapat terjadi secara spontan dengan beberapa kondisi lingkungan yang mempengaruhi seperti konsentrasi  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{NH}_4^+$ , dan  $\text{PO}_4^{3-}$ , pH, temperatur, dan ion kompetitif. Ion kompetitif inilah yang mengakibatkan hasil pengendapan yang diperoleh tidak maksimal. Dalam hal ini, ion pengganggu dalam proses pengendapan *struvite* adalah ion  $\text{Ca}^{2+}$ . Keberadaan ion  $\text{Ca}^{2+}$  pada air limbah mempengaruhi ukuran hasil endapan *struvite* (Le Corre *et al.*, 2005). Proses pembentukan *struvite* dapat terhambat dengan terbentuknya endapan kalsium fosfat (Momberg dan Oellermann, 1992). Apabila rasio Ca/P tinggi dalam air limbah, maka P akan tersisihkan sebagai endapan kalsium dan proses pembentukan *struvite* akan terhambat (Wang *et al.*, 2005).

Air limbah fosfat PT Petrokimia Gresik mengandung kalsium yang berasal dari produk samping dari proses produksi asam fosfat berupa *slurry gypsum*. Namun konsentrasi kalsium dalam air limbah masih memungkinkan pembentukan *struvite* dengan tingkat kemurnian yang tinggi. Menurut Wang *et al.* (2015) rasio Ca/P kurang dari 0,5 pada  $\text{pH} < 9,2$ , *struvite* yang akan terbentuk adalah *struvite* murni. Rata-rata konsentrasi kalsium pada air limbah fosfat sebesar 132,64 mg/L. Sedangkan konsentrasi fosfat 4540,82 mg/L, sehingga rasio

molar Ca/P masih kurang dari 0,5 dan *struvite* yang dihasilkan adalah *struvite* murni. Kondisi ini terjadi hanya apabila air limbah fosfat yang digunakan adalah air limbah sebelum masuk ke pengolahan koagulasi dan flokulasi. Jika air limbah yang digunakan adalah air limbah setelah proses koagulasi flokulasi maka, proses pra pengolahan untuk menyisihkan kalsium perlu dilakukan.

Dari hasil dari penelitian ini penyisihan kalsium mencapai 10% pada variasi luas permukaan membran 200 cm<sup>2</sup> dan arus listrik 0.75 A dengan produk air limbah yang dapat digunakan adalah air limbah fosfat yang berperan sebagai *feed* pada kompartemen tengah elektrodialisis. Larutan konsentrat pada anoda juga dapat dijadikan sebagai hasil walaupun konsentrasi fluorida meningkat setelah proses elektrodialisis. Namun, menurut Warmadewanthi dan Liu (2009) fluorida bukan merupakan salah satu ion pengganggu dalam proses pengendapan *struvite*.

**(Halaman ini sengaja dikosongkan)**

## **BAB V**

### **KESIMPULAN DAN SARAN**

#### **5.1 Kesimpulan**

1. Ion – ion berpindah secara efektif pada luas permukaan membran 100 cm<sup>2</sup> untuk kapasitas air limbah sebesar 4 L. Dengan luas permukaan membran 100 cm<sup>2</sup> konsentrasi fosfat pada anoda mencapai 30,69 mg/L dan kapasitas perpindahan ion melalui membran 0,307 mg/L/cm<sup>2</sup>. Konsentrasi fluorida pada anoda sebesar 983,23 mg/L dan kapasitas perpindahan ion melalui membran 9,83 mg/L/cm<sup>2</sup>. Sedangkan Konsentrasi kalsium sebesar 20,48 mg/L dan kapasitas perpindahan ion melalui membran 0,205 mg/L/cm<sup>2</sup>. Kondisi ini efektif untuk rasio volume reaktor efektif : total volume air limbah 1:20. Peningkatan dua kali luas membran hanya menghasilkan perbedaan 2,42% konsentrasi ion yang berpindah. Sehingga, luas membran 100 cm<sup>2</sup> lebih efektif untuk digunakan.
2. Arus listrik efektif adalah 0,75 A untuk kapasitas sebesar 4 L air limbah. Pada besar arus listrik 0,75 A massa zat fosfat yang berpindah 0,19 mg dan massa zat fluorida yang berpindah 7,82 mg. Massa zat yang berpindah turun dengan meningkatnya kuat arus sebesar 1 A.
3. Kebutuhan energi yang dibutuhkan untuk proses elektrodialisis sebanyak 4 L air limbah fosfat menggunakan kuat arus 0,75 A dengan luas permukaan membran 100 cm<sup>2</sup> yaitu sebesar 2,70 kWh/m<sup>3</sup> selama 6 jam proses elektrodialisis. Kebutuhan energi meningkat 90,7 % jika menggunakan kuat arus sebesar 1 A dengan hanya menghasilkan perbedaan 21,97% pada perpindahan anion dalam proses elektrodialisis.

## 5.2 Saran

1. Pada penelitian selanjutnya diperlukan kontrol pH pada larutan di kompartemen katoda maupun anoda untuk menghindari pembentukan presipitat pada permukaan membran.
2. Diperlukan juga pengadukan yang kontinyu tidak hanya pada air limbah yang diolah tetapi juga pada larutan di kompartemen anoda maupun katoda. Sehingga sampel yang didapat sama tingkat homogenitasnya.
3. Jenis elektroda yang digunakan dapat diganti dengan tipe *stainless steel* lain ataupun jenis elektroda *inert* lain seperti karbon atau platina. Karena menurut hasil penelitian ini, *stainless steel* tipe 304 yang digunakan selama 6 jam proses elektrodialisis, menimbulkan perubahan warna yang signifikan akibat peluruhan campuran besi pada *stainless steel*.

## DAFTAR PUSTAKA

- Abdelrazig, B. E. I. dan Sharp, J. H. 1988. *Phase changes on heating amonia magnesium phosphate hydrates*. Thermochemica Acta, Vol 129, Hal. 197-215.
- Acelas, N. Y., Florez, E., dan Lopez, D. 2014. *Phosporus Recovery through Struvite Precipitation from Waste Water : Effect of the Competitive Ions*. Desalination and Water Treatment Journal.
- Carlson, H., Aspegren, H., Lee, N., dan Hilmer, A. 1997. *Calsium Phosphate Precipitation in Biological Phosphorus Removal System*. Water Research, Vol. 31, Hal. 1047-1055.
- Cusick, R. D. dan Logan, B. E. 2012. *Phosphate Recovery as Struvite within a single Chamber Microbial Electrodialysis Cell*. Bioresource Technology, Vol. 107, Hal. 110-115.
- Chang, M. F dan Liu, J. C. 2007. *Precipitation Removal of Fluorida from semiconductor wastewater*. Journal of Environmental Engineering, Vol.133, Hal. 419-425.
- Doyle, J. 2002. *Fundamental Chemistry and Control of Struvite Precipitation*. School of Water Science, Granfield University.
- Farrell, S., Hesketh, R. P., dan Slater, C. S. 2003. *Exploring the Potential of Electrodialysis. Membrane in Che Education*. Rowan University .
- Fitria, N. N. 2011. *Analisis Outlet Proses Pengolahan Limbah Cair di Unit Effluent Treatment dan Advanced Treatment Pabrik III PT Petrokimia Gresik Jawa Timur*. Laporan Tugas Akhir. Program Diploma III HIPERKES dan Keselamatan Kerja Fakultas Kedokteran Universitas Sebelas Maret.
- Huang, C., Xu, T., Zhang, Y., Xye, T., dan Chen. G. 2007. *Application of Electrodialysis to the Production of Organic Acids : State of the Art and Recent Development*. Journal of Membrane Science, Vol 288, Hal. 1-12.

- Jin, Z., Jia, Y., Zhang, K. S., Kong, L. T., Sun, B., Shen, W., Meng, F. L., dan Liu, J. H. 2016. *Effective Removal of Fluoride by Porous MgO Nanoplates and Its Adsorption Mechanism*. Journal of Alloys and Compound.
- Kabay, N., Kahveci, H., Ipek, O dan Yuksel, M. 2006 . *Separation of Monovalent and Divalent Ions from Ternary Mixture by Electrodialysis*. Desalination Journal. Vol 198, Hal. 74-83.
- Le Corre, K. S., Valsami-Jones, E., Hoobs, P., dan Parsons, S. A. 2005. *Impact of Calcium on Struvite Crystal Size, Shape and Purity*. School of Water Sciences, Cranfield University UK.
- Lu, N. C dan Liu, J. C. 2010. *Removal of Phosphate and Fluoride from Wastewater by Hybrid Precipitation-Microfiltration Process*. Separation and Purification Technology. Vol. 74. Hal. 329-335.
- Membranes International Inc. CMI-7000 Cation Exchange Membrane Technical Specification. USA.
- Membranes International Inc. AMI-7001 Anion Exchange Membrane Technical Specification. USA.
- Miles, A., dan Ellis, T. G. 1999. *Struvite Precipitation Potential for Nutrient Recovery from Anaerobically Treated Wastes*. HDR Engineering Inc Indian Hills Drive.
- Momberg, G.A. dan Oellermann, R. A. 1992. *The Removal of Phosphate by Hydroxyapatite and Struvite Crystallisation in South Africa*. Water Science Technology, Vol 26, Hal. 987 – 996.
- Muhammad, A. F dan Hanani, K. R. 2014. *Studi Pengolahan Limbah Cair di Unit Produksi III PT Petrokimia Gresik*. Laporan Kerja Praktik. Jurusan Teknik Lingkungan ITS.
- Noble, R.D. dan Stern, S.A. 1995. *Membrane Separations Technology : Principles and Applications*. New York : Elsevier.
- Padaki, M., Murali, R. S., Abdullah M. S., Misdan, N., Moeslehyani. A., Kassim, M.A., Hilal, N., dan Ismail,



- A.F. 2015. *Membrane Technology Enhancement in Oil-Water Separation. A review*. Desalination Journal, Vol. 357, Hal. 197-207.
- Pratama, R. R.P. 2015. *Recovery Amonium dan Fosfat Limbah Cair PT Petrokimia Gresik melalui Proses Presipitasi menggunakan Magnesium*. Tugas Akhir. Jurusan Teknik Lingkungan ITS.
- Rao, M. K., dan Metre, M. 2014. *Effective Low Cost Absorbents for Removal of Fluoride from water : a Review*. International Journal of Science Research.
- Riyanto. 2013. *Elektrokimia dan Aplikasinya*. Graha Ilmu : Yogyakarta.
- Roberts, T. L. 2013 *Cadmium and Phosphorus Fertilizers : The Issues and The Science*. Procedia Engineering, Vol. 83, Hal. 52-29.
- Saidou, H., Korchef, A., Moussa, S. B., dan Amor, M. B. 2015. *Study of  $Cd^{2+}$ ,  $Al^{3+}$ , and  $SO_4^{2-}$  Ions Influence on Struvite Precipitation from Synthetic Water by Dissolved  $CO_2$  Degasification Technique*. Open Journal Inorganic Chemistry, Vol. 5, Hal. 41-51.
- Sawyer, C. N., McCarty, P. L., dan Parkin, G. F. 2003. *Chemistry for Environmental Engineering and Science Fifth Edition*. New York : Mc Graw Hill.
- Strathmann, H. 2010. *Electrodialysis, a Mature Technology with a Multitude of New Applications*. Desalination. Vol. 264. Hal. 268-288.
- Valero, F., Barceló, A., dan Arbós, R. 2011. *Electrodialysis Technology Theory and Applications Desalination Trends and Technology* Schoor, dalam Michael (Ed). Desalination Trends and Technologies (hal 1 – 20). Croatia : In Tech.
- van der Bruggen, B., Koninckx, A., dan Vandecasteele, C. 2003. *Separation of Monovalent and Divalent Ions from Aqueous Solution by Electrodialysis and Nanofiltration*. Water Research, Vol 38, Hal 1347 – 1353.
- Wang, J., Burken, J. G., Zhang, X., dan Surampalli, R. Y. 2005. *Engineered Struvite Precipitation : Impact of*

- Component-Ion Molar Ratios and pH*. Faculty Research and Creative Works. Missouri University of Science and Technology.
- Wang, X., Zhang, X., Wang, Y., Du, Y., dan Feng, H. 2015. *Simultaneous Recovery of Amonium and Phosporus via the Integration of Electrodialysis with Struvite Reactor*. Journal of Membrane Science, Vol. 400, Hal. 65-71.
- Warmadewanthi, dan Liu, J.C. 2009. *Recovery Of Phosphate And Amonia As Struvite From Semiconductor Wastewater*, Separation and Purification Technology, Vol. 64. Hal. 368–373.
- Wenten, I.G. 2002. *Teknologi Membran untuk Pemanfaatan Kembali Air Buangan Laundry*. Departemen Teknik Kimia Institut Teknologi Bandung.
- Yusuf, I. D. Y. 2015. *Pengolahan Limbah Reverse Osmosis Menggunakan Elektrodialisis dengan Variasi Rapat Arus dan Jumlah Kompartemen*. Tugas Akhir. Jurusan Teknik Lingkungan ITS.

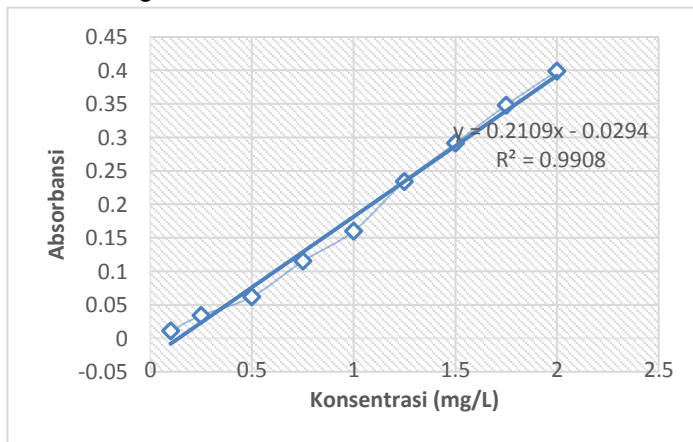
## LAMPIRAN PROSEDUR ANALISIS LABORATORIUM

### 1. Analisis Kalsium

- Menyiapkan sampel dan melakukan pengenceran
- Menyiapkan kurva kalibrasi
- Menganalisis menggunakan spektrofotometer serapan atom

### 2. Analisis Amonium

- Mengencerkan sampel, untuk amonium pada katoda diencerkan 1953.125 x, pada air limbah diencerkan 156.25 x
- Menyiapkan 10ml sampel yang telah diencerkan dalam beaker glass
- Menambahkan 0,4 ml larutan Nessler
- Menambahkan 0,5 ml larutan garam signet
- Diaduk dan didiamkan selama 10 menit
- Menganalisis menggunakan spektrofotometer dengan panjang gelombang 398 nm
- Mengkonversi hasil bacaan pada spektrofotometer dengan kurva kalibrasi



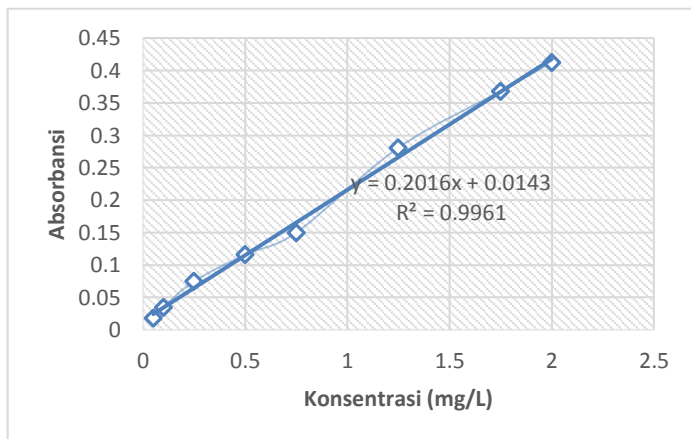
Gambar 6.1 Kurva Kalibrasi Amonium

### 3. Analisis Konduktivitas

- Menyediakan sampel dari masing-masing variable
- Membersihkan alat Handy Lab LF11 dengan aquades dan dikeringkan menggunakan tissue
- Mencelupkan *pobes* alat Handy Lab LF11 yang telah diatur untuk mengukur TDS pada sampel

### 4. Analisis Fosfat

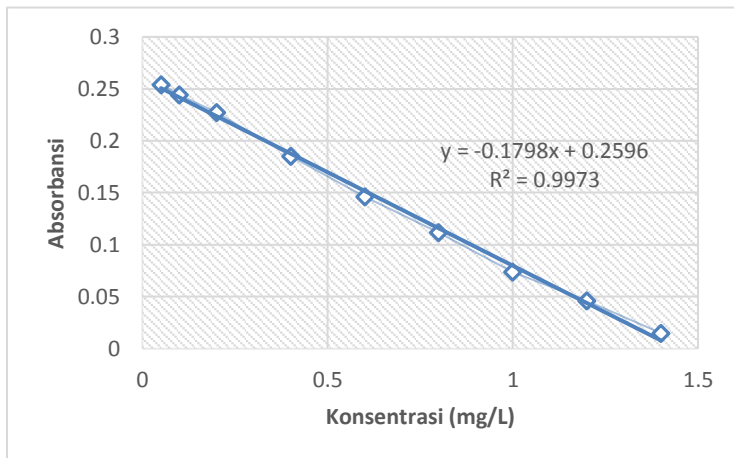
- Mengencerkan sampel, untuk fosfat pada anoda diencerkan 6,25 x, fosfat di ari limbah diencerkan 1953.125 x
- Menyiapkan 10ml sampel yang telah diencerkan dalam beaker glass
- Menambahkan larutan amonium molibdate 0,4 ml
- Menambahkan 1-2 tetes larutan klorid timah
- Diaduk dan didiakan selama 10 menit
- Membaca pada spektrofotometer dengan panjang gelombang 694 nm
- Mengkonversi nilai absorbansi dengan kurva kalibrasi



**Gambar 6.2 Kurva Kalibrasi Fosfat**

5. Analisis Flourida

- Mengencerkan sampel
- Menyiapkan 10ml sampel yang telah diencerkan dalam beaker glass
- Menambahkan larutan SPADNS – asam zirconyl 2ml
- Membaca pada spektrofotometer dengan panjang gelombang 585 nm
- Mengkonversi nilai absorbansi dengan kurva kalibrasi



**Gambar 6.3 Kurva Kalibrasi Fluorida**

6. Analisis pH

- Menyiapkan sampel
- Mencelupkan *probes* pH meter pada sampel
- Membaca nilai pH yang sudah stabil

**(Halaman ini sengaja dikosongkan)**

## LAMPIRAN HASIL ANALISIS DAN HASIL PERHITUNGAN

**Tabel 7.1 Hasil Analisis Parameter Fosfat Proses Elektrodialisis Variasi Luas Membran 100 cm<sup>2</sup>**

Menit ke -	Q	PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup> Eksperimen 1		PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup> Eksperimen 2	
	Ah/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L
		Anoda	Air Limbah	Anoda	Air Limbah
0,5 A					
0	0	0,30	4540,82	0,55	4540,82
90	0,70	7,42	4976,79	13,50	4598,95
180	1,46	10,77	4337,37	25,22	4308,31
270	2,29	11,02	4511,76	25,47	4831,47
360	3,20	13,00	4531,13	30,98	4259,87
0,75 A					
0	0	0,44	4821,78	0,86	3126,36
90	1,05	18,24	4540,82	17,84	3562,32
180	2,20	25,06	4569,89	21,19	4453,63
270	3,44	27,82	4879,91	25,90	4395,50
360	4,79	30,58	4589,26	32,10	4424,56
1A					
0	0	1,17	4957,41	1,88	4511,76
90	1,40	11,08	4783,02	16,29	4569,89
180	2,93	10,40	4908,97	21,56	4279,24
270	4,58	11,70	4676,46	23,29	4802,40
360	6,39	14,86	5044,60	27,70	4230,80

**Tabel 7.2 Hasil Analisis Parameter Fosfat Proses Elektrodialisis Variasi Luas Membran 200 cm<sup>2</sup>**

Menit ke -	Q	PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup>	
	Ah/L	mg/ L	mg/ L
		Anoda	Air Limbah
0,5 A			
0	0	0,09	5034,92
90	0,70	5,25	4783,02
180	1,46	10,96	463770
270	2,29	9,72	4821,78
360	3,20	9,28	4841,15
0,75 A			
0	0	0,36	3736,71
90	1,05	12,20	3736,71
180	2,20	17,22	3794,84
270	3,44	19,26	3697,96
360	4,79	19.45	3969,22
1A			
0	0	0,30	4453,63
90	1,40	8,60	4569,89
180	2,93	16,35	4686,14
270	4,58	17,96	480240
360	6,39	24,78	4763,65



**Tabel 7.3 Hasil Analisis Parameter Fluorida Proses  
Elektrodialisis Variasi Luas Membran 100 cm<sup>2</sup>**

Menit ke -	Q	F- Eksperimen 1		F- Eksperimen 2	
	Ah/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L
		Anoda	Air Limbah	Anoda	Air Limbah
0.5 A					
0	0	10,69	9722,17	0,50	11351,59
90	0,70	102,37	6463,34	110,63	16918,76
180	1,46	190,84	9179,04	220,38	8907,47
270	2,29	209,96	12166,30	994,31	18412,39
360	3,20	213,43	7413,84	1005,17	11487,37
0,75 A					
0	0	3,98	7278,05	0,50	11351,59
90	1,05	110,63	6599,13	112,80	15153,56
180	2,20	213,87	4969,71	217,78	32533,98
270	3,44	932,75	5241,28	965,34	20856,51
360	4,79	954,47	5648,64	1016,03	23979,55
1A					
0	0	8,52	11623,16	7,45	12166,30
90	1,40	101,94	7956,97	128,44	17597,68
180	2,93	176,06	8228,54	246,45	9586,39
270	4,58	204,94	6055,99	675,66	19091,31
360	6,39	262,88	8092,76	798,78	12166,30

**Tabel 7.4 Hasil Analisis Parameter Fluorida Proses  
Elektrodialisis Variasi Luas Membran 200 cm<sup>2</sup>**

Menit ke -	Q	F <sup>-</sup>	
	Ah/L	mg/L	mg/L
		Anoda	Air Limbah
0.5 A			
0	0	6.26	21535.43
90	0.70	73.46	6734.91
180	1.46	112.80	10536.88
270	2.29	220.38	7821.19
360	3.20	221.25	4833.93
0.75 A			
0	0	7.21	10808.45
90	1.05	104.98	10265.31
180	2.20	198.66	8907.47
270	3.44	896.54	9722.17
360	4.79	914.64	7549.62
1A			
0	0	7.21	9993.74
90	1.40	111.50	4698.15
180	2.93	222.12	4833.93
270	4.58	225.60	4562.36
360	6.39	449.46	3747.65

**Tabel 7.5 Hasil Analisis Parameter Amonium Proses  
Elektrodialisis Variasi Luas Membran 100 cm<sup>2</sup>**

Menit ke -	Q	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> Eksperimen 1		NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> Eksperimen 2	
	Ah/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L
		Air Limbah	Katoda	Air Limbah	Katoda
0,5 A					
0	0	87,87	2228,17	2070,74	153,06
90	0,70	116,02	2339,30	2089,26	110,83
180	1,46	66,38	1737,35	2042,96	153,06
270	2,29	58,23	1774,39	2135,56	96,02
360	3,20	44,90	2042,96	2283,74	149,36
0,75 A					
0	0	83,42	2042,96	2042,96	61,20
90	1,05	68,60	2376,35	2098,52	73,05
180	2,20	71,57	2478,22	2033,69	48,60
270	3,44	126,39	2089,26	2209,65	47,12
360	4,79	122,69	2524,52	2228,17	85,64
1A					
0	0	117,50	2015,17	2024,43	133,80
90	1,40	58,97	2459,70	2070,74	104,17
180	2,93	76,75	2117,04	2042,96	144,91
270	4,58	90,83	1746,61	2135,56	118,98
360	6,39	104,17	1922,56	2209,65	84,16

**Tabel 7.6 Hasil Analisis Parameter Amonium Proses  
Elektrodialisis Variasi Luas Membran 200 cm<sup>2</sup>**

Menit ke -	Q	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	
	Ah/L	mg/L	mg/L
		Air Limbah	Katoda
0,5 A			
0	0	44,90	2533,78
90	0,70	10,08	2181,87
180	1,46	19,71	1820,69
270	2,29	38,23	1302,08
360	3,20	31,56	2228,17
0,75 A			
0	0	78,98	2163,35
90	1,05	65,64	2441,17
180	2,20	69,35	2533,78
270	3,44	124,17	1922,56
360	4,79	101,94	3145,00
1A			
0	0	21,19	2024,43
90	1,40	144,91	2061,48
180	2,93	50,82	1802,17
270	4,58	36,75	1468,78
360	6,39	83,42	1728,08

**Tabel 7.7 Hasil Analisis Parameter Kalsium Proses Elektrodialisis dengan Semua Variasi**

<b>Waktu (menit)</b>	<b>Kalsium (mg/L)</b>								
	<b>100 cm<sup>2</sup></b>						<b>200 cm<sup>2</sup></b>		
	<b>0,5 A</b>		<b>0,75 A</b>		<b>1 A</b>		<b>0,5 A</b>	<b>0,75 A</b>	<b>1 A</b>
	<b>Eksp.1</b>	<b>Eksp.2</b>	<b>Eksp.1</b>	<b>Eksp.2</b>	<b>Eksp.1</b>	<b>Eksp.2</b>	<b>Eksp.1</b>	<b>Eksp.1</b>	<b>Eksp.1</b>
	<b>Air Limbah</b>								
180	159,95	9	74,39	10,01	152,88	9	140,76	156,05	72,69
360	152,92	9	64,4	10	133,03	9	134,88	139,24	64,06
	<b>Katoda</b>								
180	6,91	0,25	5,99	0,25	6,44	0,25	3,49	7,29	4,98
360	8,33	0,25	7,52	0,15	7,95	0,15	4,53	7,45	3,21

Keterangan untuk Tabel 7.7 – 7.10 :

R1 : Luas membran 200cm<sup>2</sup> dan Kuat Arus 0,5 A

R2 : Luas membran 100cm<sup>2</sup> dan Kuat Arus 0,5

R3 : Luas membran 200cm<sup>2</sup> dan Kuat Arus 1 A

R4 : Luas membran 100cm<sup>2</sup> dan Kuat Arus 1 A

R5 : Luas membran 200cm<sup>2</sup> dan Kuat Arus 0,75 A

R6 : Luas membran 100cm<sup>2</sup> dan Kuat Arus 0,75 A

**Tabel 7.8 Hasil Analisis Parameter pH Proses Elektrodialisis dengan Semua Variasi**

Waktu (menit)	pH					
	R1	R2	R3	R4	R5	R6
	<b>Anoda</b>					
0	8.12	8.01	8.3	8.42	8.4	8.42
90	7.49	7.59	7.29	7.99	7.95	7.97
180	7.03	7.36	6.76	7.85	7.86	7.88
270	5.54	7.82	6.14	7.65	7.69	7.68
360	5.01	7.08	5.01	7.45	7.49	7.51
	<b>Air Limbah</b>					
0	1.09	1.04	1.23	1.15	1.14	1.15
90	1.09	1.04	1.19	1.18	1.15	1.16
180	1.08	1.03	1.19	1.23	1.15	1.16
270	1.09	1.03	1.19	1.25	1.15	1.16
360	1.1	1.04	1.21	1.28	1.16	1.16
	<b>Katoda</b>					
0	9.8	9.78	9.78	9.67	9.67	9.71
90	9.8	9.78	9.81	9.68	9.67	9.71
180	9.8	9.77	9.81	9.72	9.73	9.72
270	9.77	9.83	9.81	9.75	9.75	9.72
360	9.77	9.78	9.81	9.75	9.75	9.75

**Tabel 7.9 Hasil Analisis Parameter Konduktivitas Proses Elektrodialisis dengan Semua Variasi**

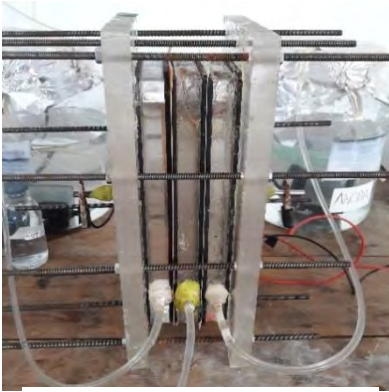
Waktu (menit)	Konduktivitas (mS/cm <sup>2</sup> )					
	R1	R2	R3	R4	R5	R6
	<b>Anoda</b>					
0	16.42	17.62	16.07	16.66	16.66	16.76
90	17.2	17.73	16.9	17.41	17.41	17.43
180	17.62	17.89	17.46	17.65	17.65	17.68
270	17.86	17.77	18.03	17.94	17.94	17.96
360	18.12	18.04	18.15	18.04	18.09	18.05
	<b>Air Limbah</b>					
0	38.7	39.2	39.7	39.2	39.6	39.5
90	37.6	38.2	37.6	38.7	38.9	38.6
180	36.3	37.6	36.1	38.5	38.6	38.6
270	35	36.7	35.3	38.4	38.5	38.5
360	34.00	37	33.4	38.4	38.4	38.5
	<b>Katoda</b>					
0	6.24	6.45	6.49	6.56	6.55	6.54
90	6.2	6.39	6.23	6.47	6.46	6.44
180	6.12	6.39	6.13	6.35	6.36	6.35
270	6.07	6.39	6.09	6.29	6.28	6.29
360	6.29	6.39	6.1	6.26	6.26	6.25

**Tabel 7.10 Perhitungan Kebutuhan Energi**

<b>Volume Elektrolit</b>	<b>Tegangan Listrik</b>	<b>Arus Listrik</b>	<b>Luas Elektroda</b>	<b>Rapat Arus Listrik</b>		<b>Muatan Listrik</b>	<b>Kebutuhan Energi</b>
<b>liter</b>	<b>Volt</b>	<b>A</b>	<b>cm<sup>2</sup></b>	<b>mA/cm<sup>2</sup></b>	<b>A/M<sup>2</sup></b>	<b>kAh/m<sup>3</sup></b>	<b>kWh/m<sup>3</sup></b>
3445	12,4	0,5	24	0,020833	0,0021	0,13	1,62
3445	11,9	0,5	24	0,020833	0,0021	0,13	1,55
3445	14,5	0,75	24	0,03125	0,0031	0,20	2,84
3445	13,8	0,75	24	0,03125	0,0031	0,20	2,70
3445	23,7	1	24	0,041667	0,0042	0,26	6,19
3445	19,7	1	24	0,041667	0,0042	0,26	5,15



## LAMPIRAN DOKUMENTASI PENELITIAN



**Gambar 8.1 Reaktor Elektrodialisis**



**Gambar 8.2 Perubahan Warna pada Anoda**



**Gambar 8.3 Rangkaian Reaktor Pada Awal Running**



**Gambar 8.4 Rangkaian Reaktor Pada Akhir Running**



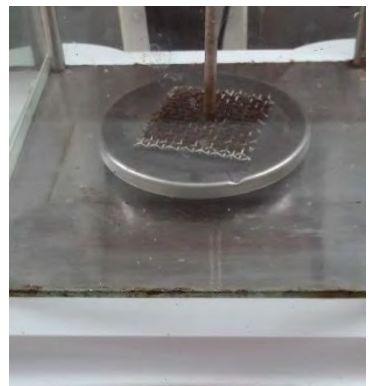
**Gambar 8.5 Kompartemen Anoda (larutan berwarna kuning)**



**Gambar 8.6 Kompartemen Katoda (terbentuk partikel terlarut berwarna putih)**



**Gambar 8.7 Pengukuran Konduktivitas**



**Gambar 8.8 Elektroda Berongga pada Anoda**

## LAMPIRAN HASIL ANALISIS LABORATORIUM

Keterangan untuk lampiran hasil analisis EDX

Berat sampel analisis EDX:

- |  |            |
|--|------------|
| 1. Sampel besar A / anion ( $200\text{ cm}^2 / 0,75\text{A}$ )   | : 0,3645 g |
| 2. Sampel besar B / kation ( $200\text{ cm}^2 / 0,75\text{ A}$ ) | : 0,2180 g |
| 3. Sampel kecil A / anion ( $100\text{ cm}^2 / 0,75\text{ A}$ )  | : 0,2928 g |
| 4. Sampel kecil B / kation ( $100\text{ cm}^2 / 0,75\text{ A}$ ) | : 0,3623 g |
| 5. Sampel anion R2 ( $100\text{ cm}^2 / 0,5\text{ A}$ )          | : 0,2543 g |
| 6. Sampel kation R2 ( $100\text{ cm}^2 / 0,5\text{ A}$ )         | : 0,3651 g |
| 7. Sampel anion R3 ( $100\text{ cm}^2 / 1\text{ A}$ )            | : 0,3743 g |
| 8. Sampel kation R3 ( $100\text{ cm}^2 / 1\text{ A}$ )           | : 0,3865 g |

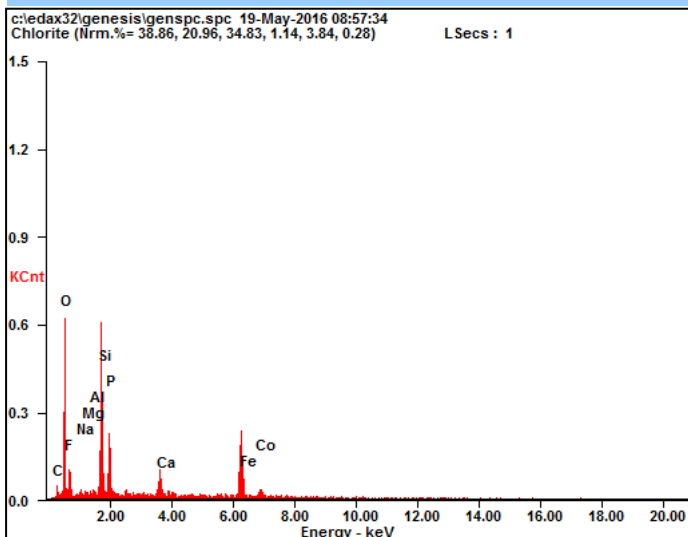
**(Halaman ini sengaja dikosongkan)**

# Microanalysis Report

Prepared for: Company Name Here

Prepared by: Anion R2

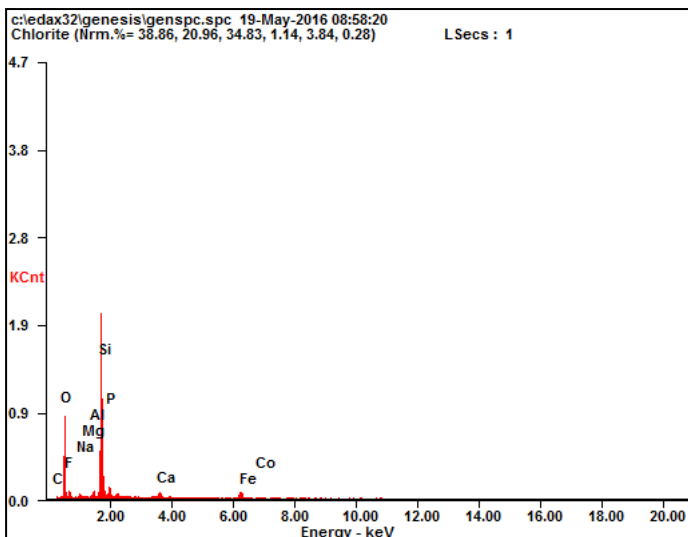
5/19/2016



KV:20.00 TILT: 0.00 TAKE-OFF:35.00 AMPT:6.4 DETECTOR TYPE  
:SDD APOLLO X RESOLUTION :125.82

Element	Wt %	At %
C K	06.35	11.33
O K	35.45	47.47
F K	12.17	13.72
NaK	01.15	01.07
MgK	00.52	00.46
AlK	00.79	00.63
SiK	16.32	12.45
PK	06.60	04.57
CaK	03.39	01.81
FeK	11.61	04.45
CoK	05.65	02.06

EDAX ZAF QUANTIFICATION STANDARDLESS SEC  
TABLE : DEFAULT



KV:20.00 TILT: 0.00 TAKE-OFF:35.00 AMPT:6.4 DETECTOR TYPE  
:SDD APOLLO X RESOLUTION :125.82

Element	Wt %	At %
C K	03.07	05.31
O K	40.34	52.35
F K	07.32	08.00
NaK	01.04	00.94
MgK	00.51	00.44
AlK	01.46	01.13
SiK	36.25	26.80
PK	03.67	02.46
CaK	01.74	00.90
FeK	02.96	01.10
CoK	01.64	00.58

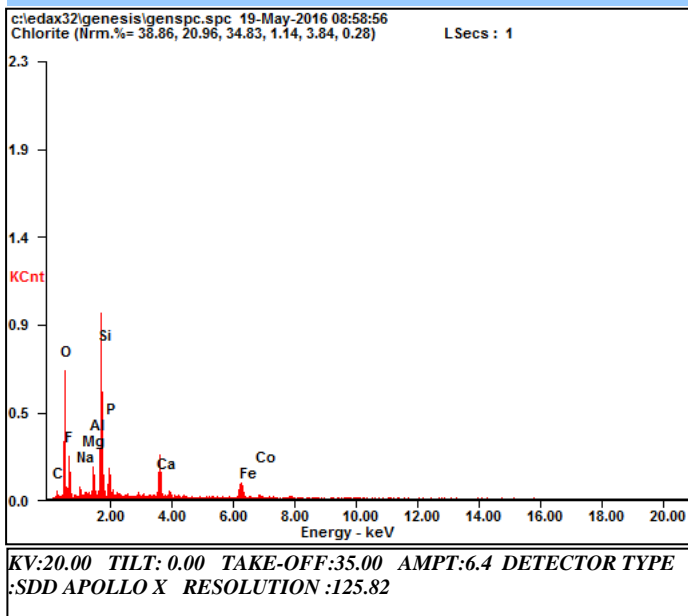
EDAX ZAF QUANTIFICATION STANDARDLESS SEC  
TABLE : DEFAULT

# Microanalysis Report

Prepared for: Company Name Here

Prepared by: Anion R2

5/19/2016



Element	Wt %	At %
C K	05.86	10.10
O K	32.97	42.66
F K	16.43	17.91
NaK	02.88	02.60
MgK	00.36	00.30
AlK	03.93	03.02
SiK	20.51	15.12
PK	04.00	02.68
CaK	05.73	02.96
FeK	04.91	01.82
CoK	02.41	00.85

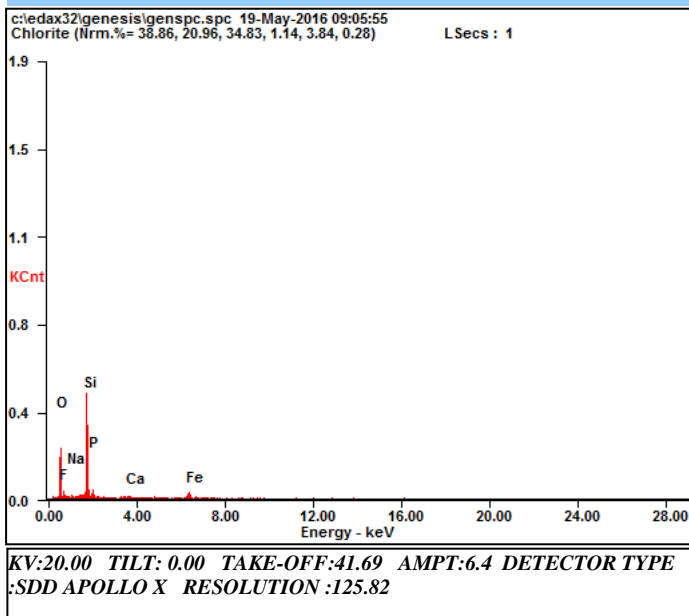
EDAX ZAF QUANTIFICATION STANDARDLESS SEC  
TABLE : DEFAULT

# Microanalysis Report

Prepared for: Company Name Here

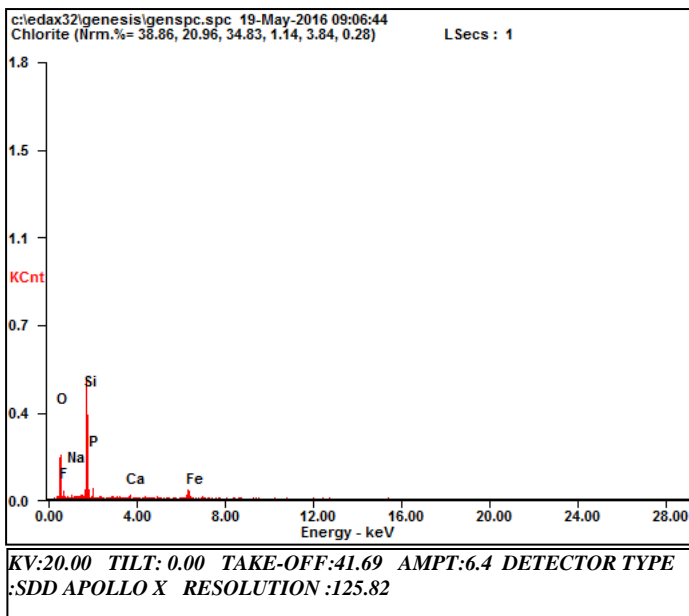
Prepared by: Anion R3

5/19/2016



Element	Wt %	At %
O K	44.61	58.51
F K	06.63	07.33
NaK	01.60	01.46
SiK	36.82	27.52
P K	03.76	02.54
CaK	01.11	00.58
FeK	05.47	02.06

EDAX ZAF QUANTIFICATION STANDARDLESS SEC  
TABLE : DEFAULT



Element	Wt %	At %
O K	46.21	59.82
F K	07.02	07.65
NaK	01.21	01.09
SiK	37.06	27.33
P K	02.65	01.77
CaK	01.17	00.60
FeK	04.68	01.74

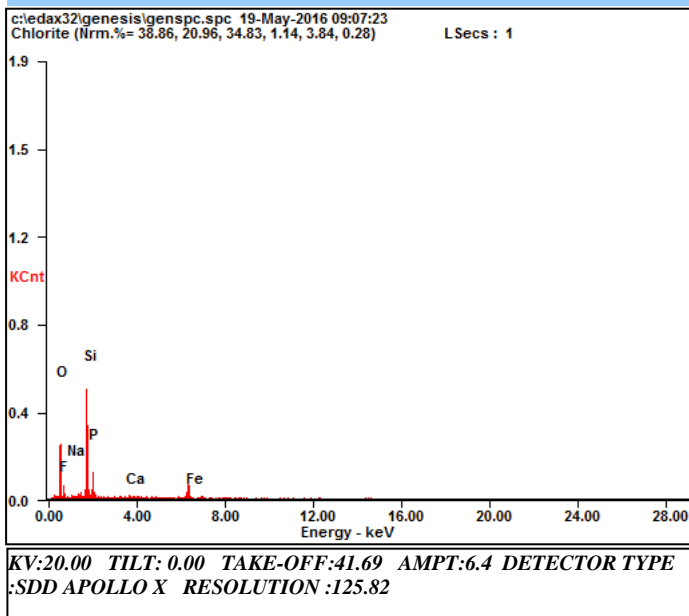
EDAX ZAF QUANTIFICATION STANDARDLESS SEC  
TABLE : DEFAULT

# Microanalysis Report

Prepared for: Company Name Here

Prepared by: Anion R3

5/19/2016



Element	Wt %	At %
O K	43.28	56.78
F K	11.31	12.49
NaK	01.40	01.28
SiK	28.48	21.29
PK	07.25	04.91
CaK	00.92	00.48
FeK	07.36	02.76

EDAX ZAF QUANTIFICATION STANDARDLESS SEC  
TABLE : DEFAULT

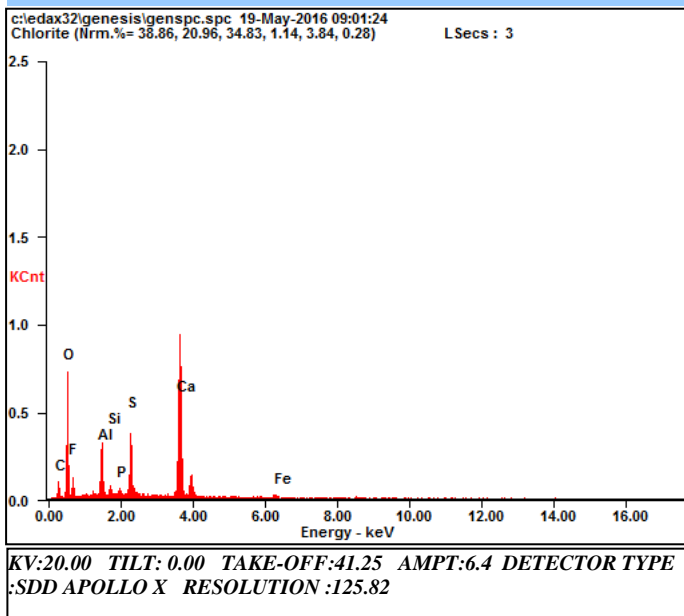


# Microanalysis Report

Prepared for: Company Name Here

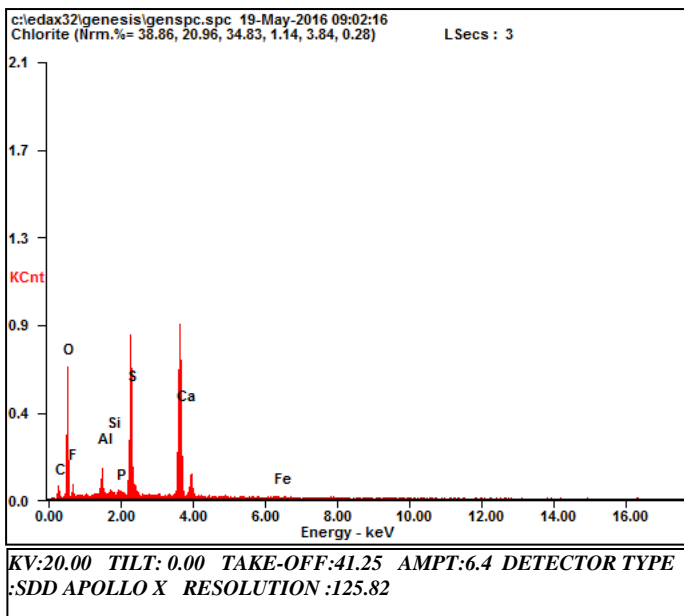
Prepared by: Kation R2

5/19/2016



Element	Wt %	At %
C K	06.88	11.46
O K	45.80	57.28
F K	08.84	09.31
Al K	06.87	05.10
Si K	01.14	00.81
P K	00.68	00.44
S K	06.68	04.17
Ca K	22.32	11.14
Fe K	00.78	00.28

EDAX ZAF QUANTIFICATION STANDARDLESS SEC  
TABLE : DEFAULT



Element	Wt %	At %
C K	06.41	10.88
O K	47.41	60.41
F K	04.51	04.84
Al K	02.94	02.22
Si K	00.38	00.28
P K	00.46	00.30
S K	14.86	09.45
Ca K	22.38	11.38
Fe K	00.64	00.24

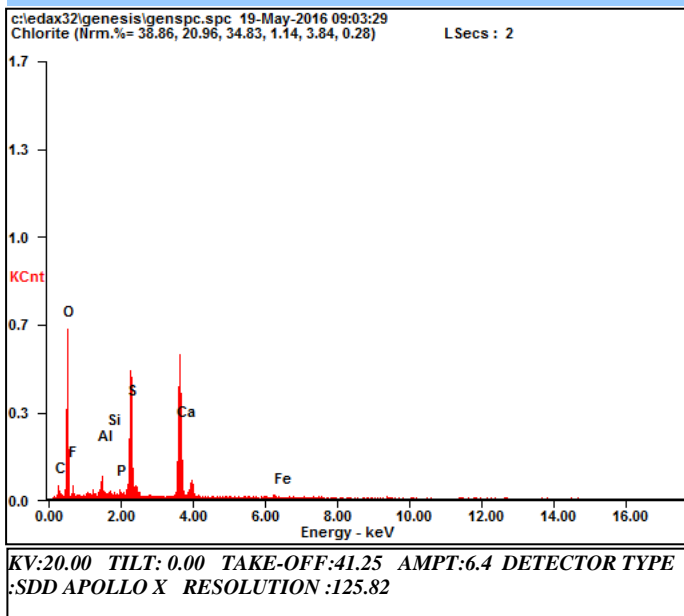
EDAX ZAF QUANTIFICATION STANDARDLESS SEC  
TABLE : DEFAULT

# Microanalysis Report

Prepared for: Company Name Here

Prepared by: Kation R2

5/19/2016



Element	Wt %	At %
C K	06.41	10.50
O K	51.86	63.77
F K	05.39	05.58
Al K	02.66	01.94
Si K	00.52	00.36
P K	00.61	00.39
S K	13.24	08.13
Ca K	18.35	09.01
Fe K	00.96	00.34

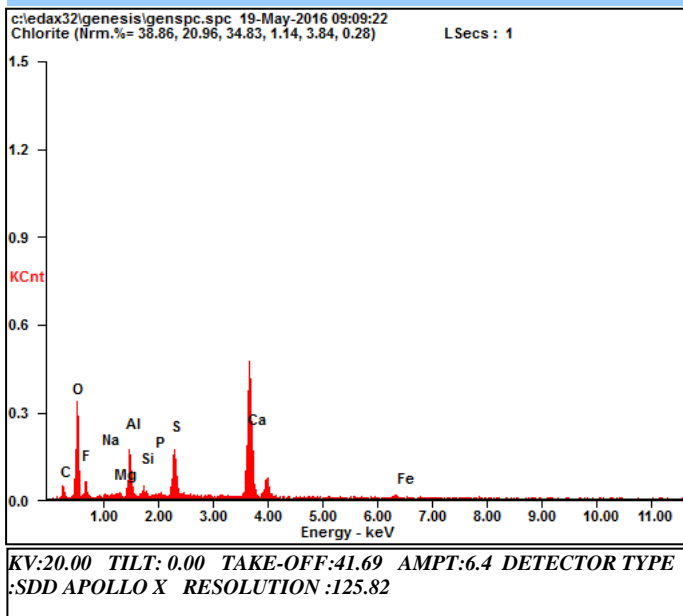
EDAX ZAF QUANTIFICATION STANDARDLESS SEC  
TABLE : DEFAULT

# Microanalysis Report

Prepared for: Company Name Here

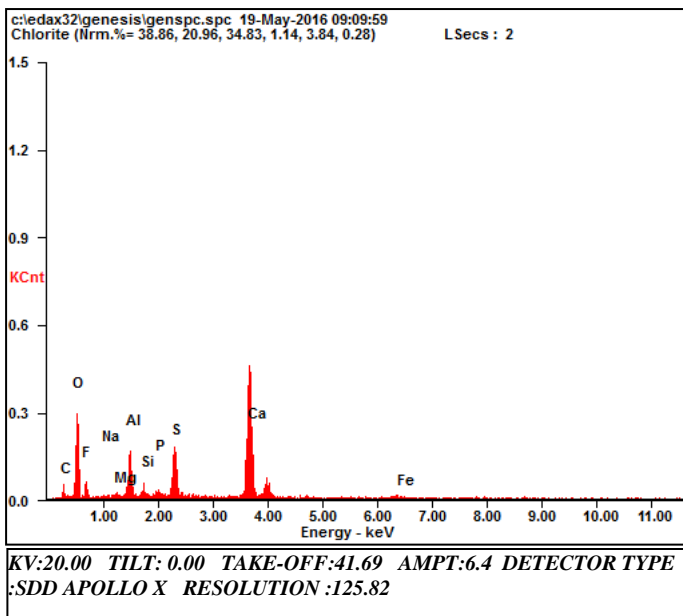
Prepared by: Kation R3

5/19/2016



Element	Wt %	At %
C K	05.91	09.91
O K	45.01	56.66
F K	09.85	10.44
NaK	00.74	00.65
MgK	00.73	00.60
AlK	07.27	05.43
SiK	01.24	00.89
PK	00.59	00.38
SK	05.90	03.71
CaK	21.94	11.02
FeK	00.82	00.30

EDAX ZAF QUANTIFICATION STANDARDLESS SEC  
TABLE : DEFAULT



Element	Wt %	At %
C K	07.58	12.73
O K	43.16	54.44
F K	08.89	09.45
NaK	00.44	00.39
MgK	00.66	00.54
AlK	06.70	05.01
SiK	01.14	00.82
PK	00.68	00.44
SK	06.88	04.33
CaK	22.74	11.45
FeK	01.12	00.41

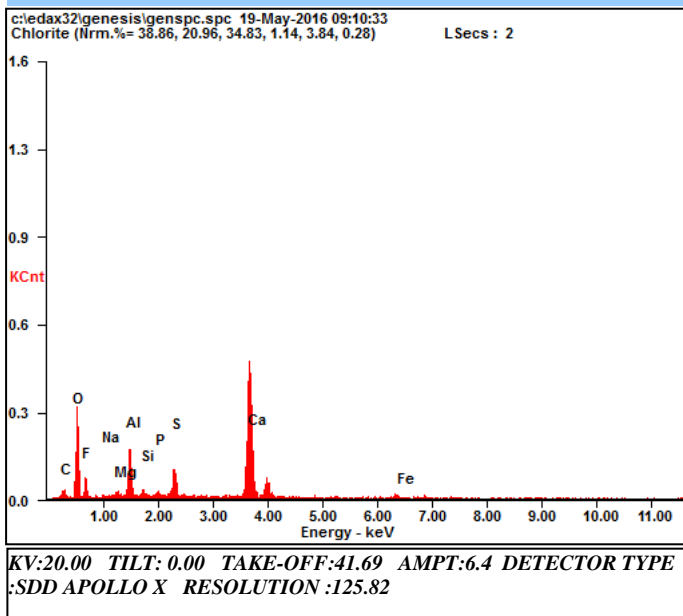
EDAX ZAF QUANTIFICATION STANDARDLESS SEC  
TABLE : DEFAULT

# Microanalysis Report

Prepared for: Company Name Here

Prepared by: Kation R3

5/19/2016



Element	Wt %	At %
C K	06.12	10.34
O K	43.45	55.08
F K	10.70	11.42
NaK	00.36	00.31
MgK	00.81	00.68
AlK	08.12	06.11
SiK	01.10	00.79
PK	00.68	00.45
SK	03.59	02.27
CaK	24.16	12.22
FeK	00.91	00.33

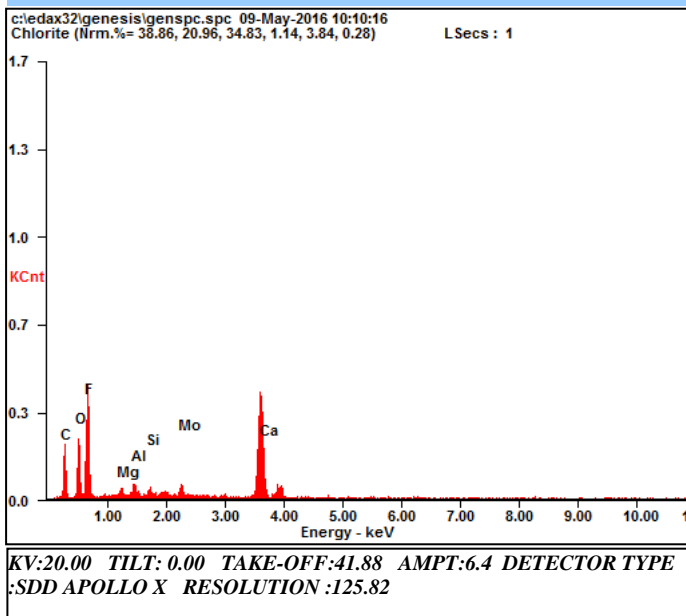
EDAX ZAF QUANTIFICATION STANDARDLESS SEC  
TABLE : DEFAULT

# Microanalysis Report

Prepared for: Company Name Here

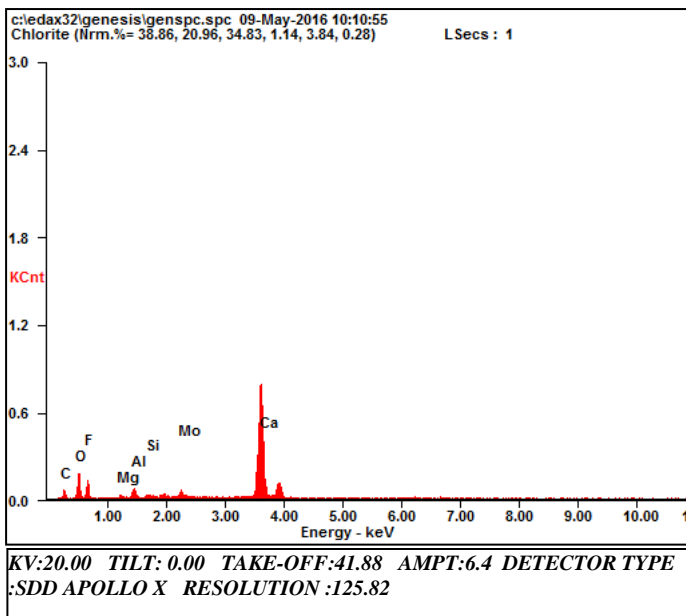
Prepared by: Sampel B Besar

5/9/2016



Element	Wt %	At %
C K	18.67	28.77
O K	21.53	24.91
F K	36.15	35.22
MgK	01.19	00.91
AlK	02.06	01.41
SiK	00.93	00.62
MoL	03.07	00.59
CaK	16.41	07.58

EDAX ZAF QUANTIFICATION STANDARDLESS SEC  
TABLE : DEFAULT



Element	Wt %	At %
C K	06.47	12.20
O K	28.17	39.90
F K	17.75	21.17
MgK	00.62	00.58
AlK	02.98	02.50
SiK	00.69	00.56
MoL	04.28	01.01
CaK	39.06	22.08

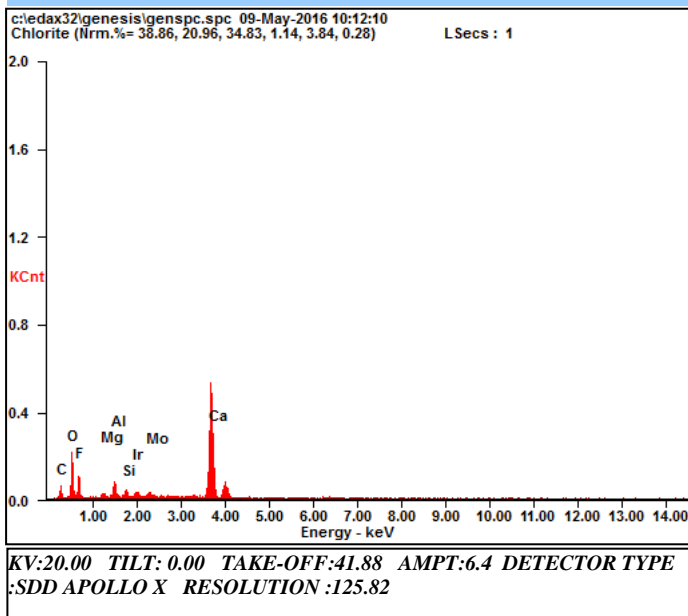
EDAX ZAF QUANTIFICATION STANDARDLESS SEC  
TABLE : DEFAULT

# Microanalysis Report

Prepared for: Company Name Here

Prepared by: Sampel B Besar

5/9/2016



Element	Wt %	At %
C K	07.71	13.98
O K	31.21	42.50
F K	18.61	21.34
MgK	01.34	01.20
AlK	03.96	03.20
SiK	01.63	01.27
IrM	04.75	00.54
MoL	02.44	00.55
CaK	28.35	15.41

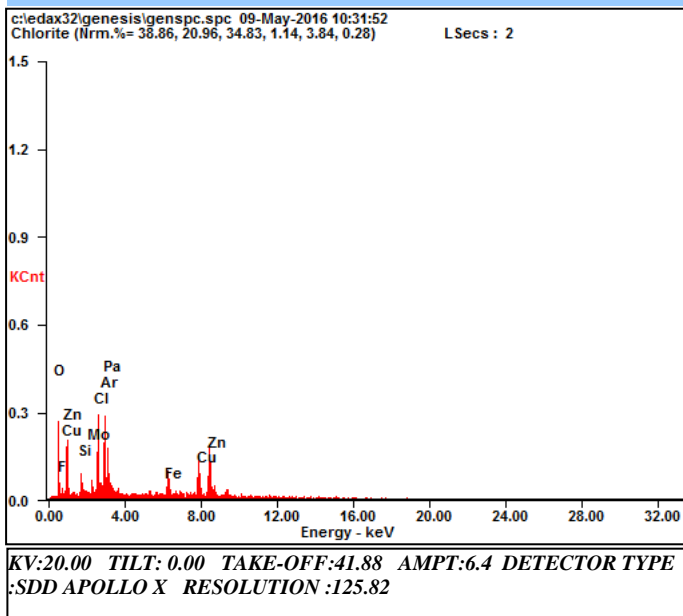
EDAX ZAF QUANTIFICATION STANDARDLESS SEC  
TABLE : DEFAULT

# Microanalysis Report

Prepared for: Company Name Here

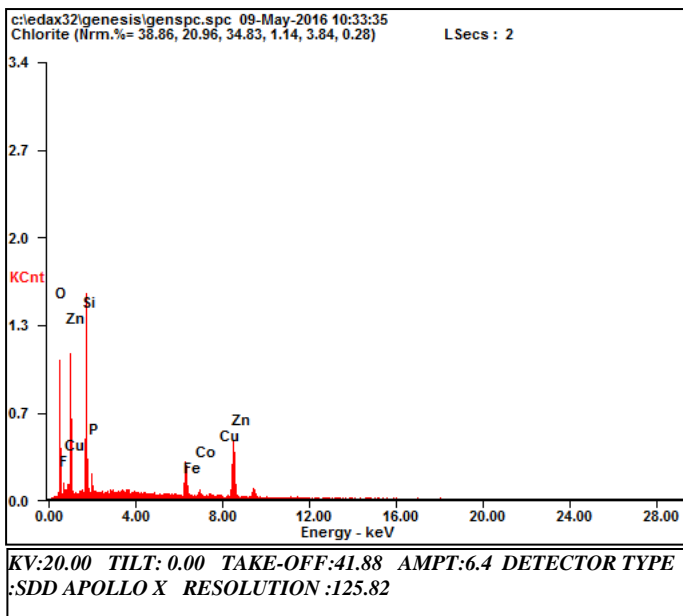
Prepared by: Sampel Besar A

5/9/2016



Element	Wt %	At %
O K	23.66	51.23
F K	03.33	06.07
SiK	02.63	03.24
MoL	03.12	01.13
ClK	08.17	07.98
ArK	13.06	11.32
PaM	15.53	02.33
FeK	04.15	02.57
CuK	10.48	05.71
ZnK	15.87	08.41

EDAX ZAF QUANTIFICATION STANDARDLESS SEC  
TABLE : DEFAULT



Element	Wt %	At %
O K	32.40	53.96
F K	03.50	04.91
SiK	24.28	23.04
P K	02.54	02.18
FeK	07.95	03.80
CoK	03.13	01.41
CuK	01.24	00.52
ZnK	24.97	10.18

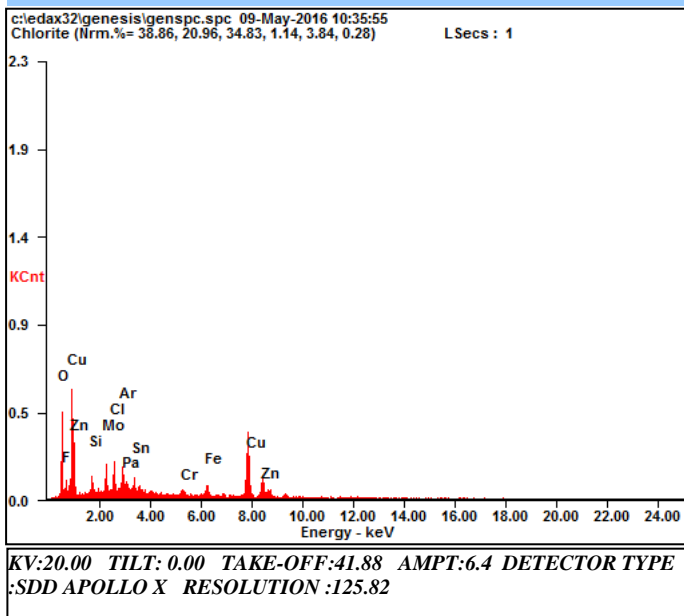
EDAX ZAF QUANTIFICATION STANDARDLESS SEC  
TABLE : DEFAULT

# Microanalysis Report

Prepared for: Company Name Here

Prepared by: Sampel Besar A

5/9/2016



Element	Wt %	At %
O K	25.76	54.89
F K	04.65	08.35
Si K	01.83	02.22
Mo L	08.90	03.16
Cl K	03.77	03.62
Ar K	04.93	04.21
Pa M	05.26	00.78
Sn L	06.30	01.81
Cr K	01.83	01.20
Fe K	02.75	01.68
Cu K	22.32	11.98
Zn K	11.71	06.11

EDAX ZAF QUANTIFICATION STANDARDLESS SEC  
TABLE : DEFAULT

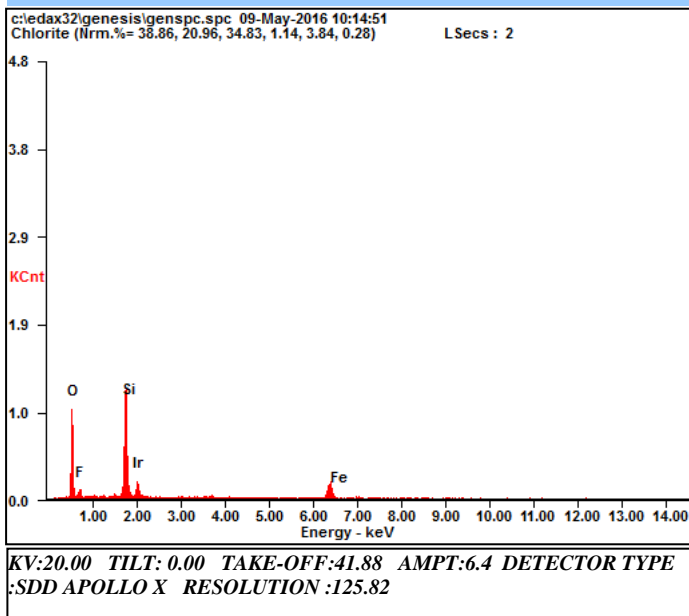


# Microanalysis Report

Prepared for: Company Name Here

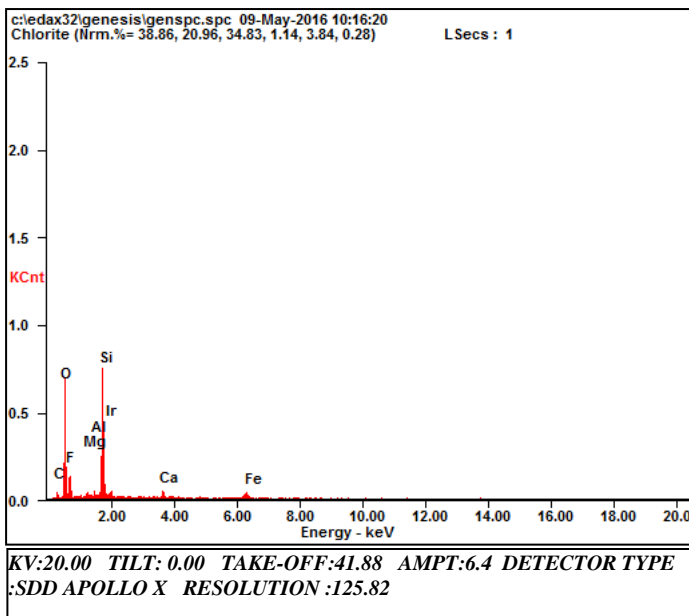
Prepared by: Sampel Kecil A

5/9/2016



Element	Wt %	At %
O K	41.55	62.63
F K	06.73	08.54
Si K	27.27	23.42
Ir M	16.82	02.11
Fe K	07.64	03.30

EDAX ZAF QUANTIFICATION STANDARDLESS SEC  
TABLE : DEFAULT



Element	Wt %	At %
C K	06.84	11.42
O K	39.14	49.03
F K	17.42	18.38
Mg K	01.03	00.85
Al K	00.85	00.63
Si K	24.20	17.27
Ir M	06.20	00.65
Ca K	01.62	00.81
Fe K	02.69	00.97

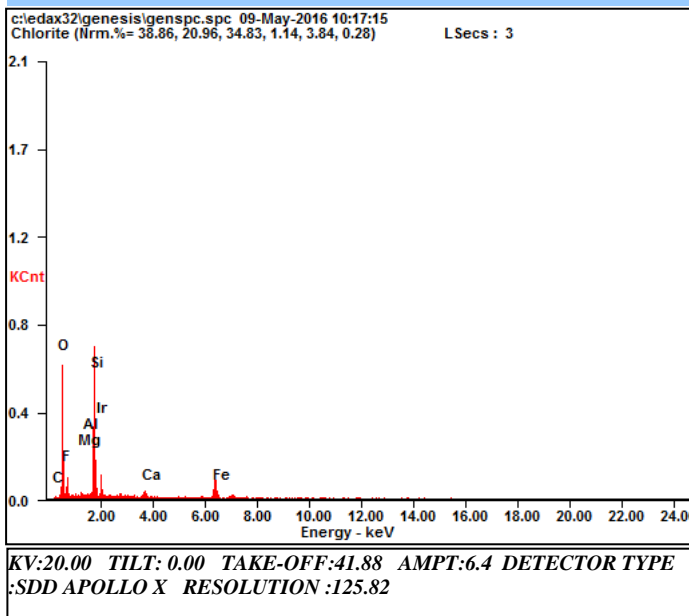
EDAX ZAF QUANTIFICATION STANDARDLESS SEC  
TABLE : DEFAULT

# Microanalysis Report

Prepared for: Company Name Here

Prepared by: Sampel Kecil A

5/9/2016



Element	Wt %	At %
C K	01.88	03.56
O K	41.89	59.45
F K	10.48	12.52
MgK	00.38	00.36
AlK	00.41	00.35
SiK	22.72	18.36
IrM	13.49	01.59
CaK	01.61	00.91
FeK	07.13	02.90

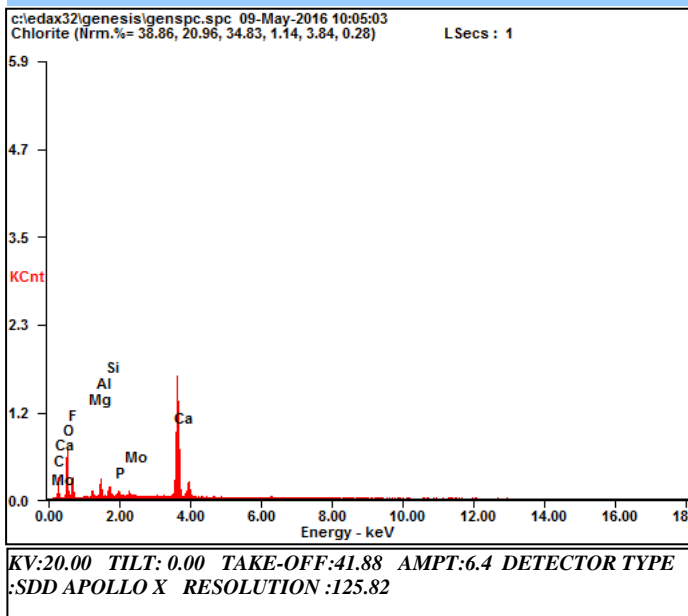
EDAX ZAF QUANTIFICATION STANDARDLESS SEC  
TABLE : DEFAULT

# Microanalysis Report

Prepared for: Company Name Here

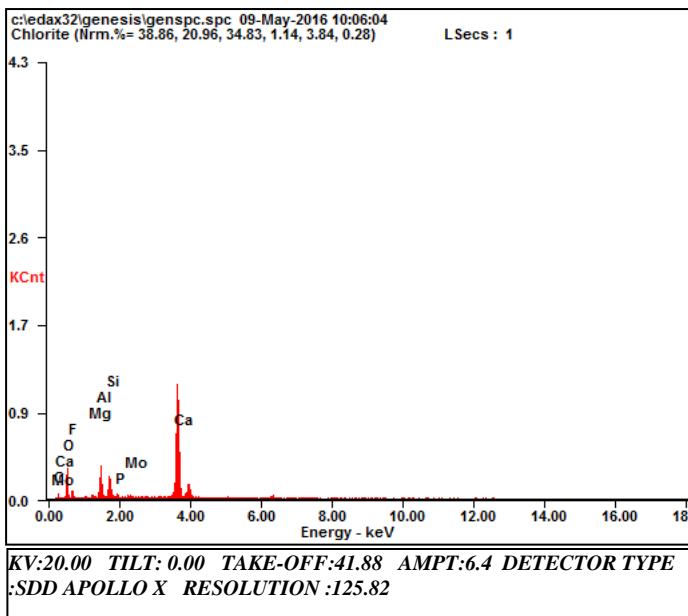
Prepared by: Sampel Kecil B

5/9/2016



Element	Wt %	At %
C K	11.22	18.90
O K	33.30	42.09
F K	16.93	18.02
MgK	01.66	01.38
AlK	03.83	02.87
SiK	02.42	01.74
P K	01.00	00.65
MoL	02.07	00.44
CaK	27.56	13.91

EDAX ZAF QUANTIFICATION STANDARDLESS SEC  
TABLE : DEFAULT



Element	Wt %	At %
C K	03.57	06.99
O K	31.21	45.88
F K	07.81	09.67
MgK	01.07	01.04
AlK	08.80	07.67
SiK	06.51	05.45
P K	00.53	00.40
MoL	02.51	00.62
CaK	37.99	22.29

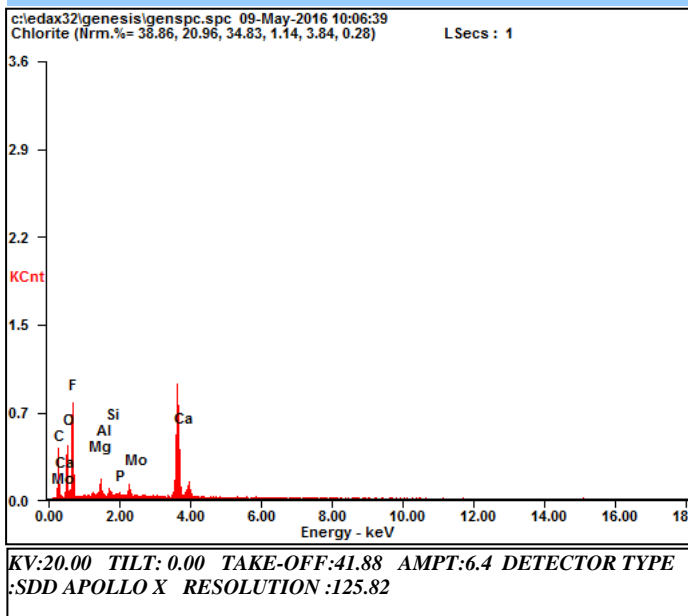
EDAX ZAF QUANTIFICATION STANDARDLESS SEC  
TABLE : DEFAULT

# Microanalysis Report

Prepared for: Company Name Here

Prepared by: Sampel Kecil B

5/9/2016



Element	Wt %	At %
C K	17.16	26.94
O K	20.51	24.18
F K	36.89	36.63
MgK	00.94	00.73
AlK	02.38	01.66
SiK	00.81	00.54
P K	00.20	00.12
MoL	02.72	00.54
CaK	18.40	08.66

EDAX ZAF QUANTIFICATION STANDARDLESS SEC  
TABLE : DEFAULT

## **LAPORAN HASIL UJI**

No. 1388/LHU/2/IV/2016

Nomor Analisa : 2016P1495 s/d 2016P1502  
Contoh : Sampel Katoda  
Merk : Terlampir  
Diterima Tanggal : 15-April-2016  
Catatan Sampel : 100 ml limbah dalam wadah botol

Nama Pengirim : Cintya Seruni Nindita

Alamat : Gununganyar Emas A-2/12 A RT 04/RW  
08 Gunung Anyar Surabaya - Jawa Timur

Nomor Analisa	Kode	Satuan	Hasil Uji Calsium (mg/L)	Metode Uji
P. 1495	Ca Katoda To R1	mg/L	3.49	SNI 06 - 6989.56 - 2005
P. 1496	Ca Katoda Tf R1	mg/L	4.53	SNI 06 - 6989.56 - 2005
P. 1497	Ca Sampel To R1	mg/L	134.88	SNI 06 - 6989.56 - 2005
P. 1498	Ca Sampel Tf R1	mg/L	140.76	SNI 06 - 6989.56 - 2005
P. 1499	Ca Katoda To R2	mg/L	6.91	SNI 06 - 6989.56 - 2005
P. 1500	Ca Katoda Tf R2	mg/L	152.92	SNI 06 - 6989.56 - 2005
P. 1501	Ca Sampel To R2	mg/L	159.95	SNI 06 - 6989.56 - 2005
P. 1502	Ca Sampel Tf R2	mg/L	8.33	SNI 06 - 6989.56 - 2005

### **Catatan:**

- Parameter uji sesuai permintaan.

Surabaya, 26-April-2016  
Laboratorium  
Kimia dan Lingkungan  
  
Ardhaningtyas Riza Utami, ST, MT  
NIP. 197808232005022001

### **Perhatian:**

Laporan Hasil Uji hanya berlaku untuk contoh diatas  
Laporan Hasil Uji ini tidak boleh digandakan kecuali seluruhnya  
Kode Dok : FM - 7.09.02 1/0

## **LAPORAN HASIL UJI**

No. 1468/LHU/2/N/2016

Nomor Analisa : 2016P1596 s/d 2016P1605

Nama Pengirim : Cintya Seruni Nindita

Contoh : Sampel Katoda

Merk : Terlampir

Alamat : Gununganyar Emas A-2/12 A RT 04/RW  
08 Gunung Anyar Surabaya - Jawa Timur

Diterima Tanggal : 19-April-2016

Catatan Sampel : 100 ml limbah dalam wadah botol

Nomor Analisa	Kode	Satuan	Hasil Uji Ca (mg/L)	Metode Uji
P. 1596	Ca Katoda To R3	mg/L	7.29	SNI 6989.56 : 2005
P. 1597	Ca Katoda Tf R3	mg/L	7.45	SNI 6989.56 : 2005
P. 1598	Ca Sampel To R3	mg/L	156.05	SNI 6989.56 : 2005
P. 1599	Ca Sampel Tf R3	mg/L	139.24	SNI 6989.56 : 2005
P. 1600	Ca Katoda To R4	mg/L	1.81	SNI 6989.56 : 2005
P. 1601	Ca Katoda Tm R4	mg/L	7.95	SNI 6989.56 : 2005
P. 1602	Ca Katoda Tf R4	mg/L	152.88	SNI 6989.56 : 2005
P. 1603	Ca Sampel To R4	mg/L	163.02	SNI 6989.56 : 2005
P. 1604	Ca Sampel Tm R4	mg/L	6.44	SNI 6989.56 : 2005
P. 1605	Ca Sampel Tf R4	mg/L	133.03	SNI 6989.56 : 2005

Catatan: Parameter uji sesuai permintaan.

Surabaya, 03-Mei-2016  
Laboratorium  
Kimia dan Lingkungan  
  
**Ardhaningtyas Riza Utami, ST, MT**  
NIP. 197808232005022001

**Perhatian :**

Laporan Hasil Uji hanya berlaku untuk contoh diatas

Laporan Hasil Uji ini tidak boleh digandakan kecuali seluruhnya

Kode Dok : FM - 7.09.02 1/0





## **LAPORAN HASIL UJI**

No. 0797/LHU/2/III/2016

Nomor Analisa : 2016P0682  
Contoh : Air Buangan Unit Produksi III PT.  
Merk : -  
Diterima Tanggal : 02-Maret-2016  
Catatan Sampel : 3 liter air limbah dalam wadah jerigen

Nama Pengirim : Cintya Seruni Nindita

Alamat : Gununganyar Emas A-2/12 A RT 04/RW  
08 Gunung Anyar Surabaya - Jawa Timur

Parameter Uji	Satuan	Hasil Uji	Metode Uji
Magnesium (Mg) *	mg/L	39.95	SNI 06 - 6989.55 - 2005
Calcium (Ca) *	mg/L	20.05	SNI 06 - 6989.56 - 2005
Fluorida (F)	mg/L	119.09	SNI 06 - 6989.29 - 2005
Phospat (PO <sub>4</sub> ) *	mg/L	3591.25	Standard Methods 20th edition 1998

**Catatan:**

- Parameter uji sesuai dengan permintaan
- Parameter logam yang diuji merupakan logam terlarut

Surabaya, 11-Maret-2016

Laboratorium  
Kimia dan Lingkungan



**Ardhaningtyas Riza Utami, ST, MT**  
NIP.-197808232005022001

**Perhatian :**

Laporan Hasil Uji hanya berlaku untuk contoh diatas  
Laporan Hasil Uji ini tidak boleh digandakan kecuali seluruhnya  
Kode Dok : FM - 7.09.02 1/0



## **LAPORAN HASIL UJI**

No. 1175/LHU/2/IV/2016

Nomor Analisa : 2016P1242 s/d 2016P1251  
Contoh : Sampel Katoda  
Merk : Terlampir  
Diterima Tanggal : 06-April-2016  
Catatan Sampel : 100 ml cairan dalam wadah botol

Nama Pengirim : Cintya Seruni Nindita

Alamat : Gununganyar Emas A-2/12 A RT 04/RW  
08 Gunung Anyar Surabaya - Jawa Timur

No	No Analisa	Kode	Parameter Ca (mg/L)	Metode Uji
1	P. 1242	Ca Katoda T1 R1	9.63	SNI 06-6989.56- 2005
2	P. 1243	Ca Katoda Tm R1	12.37	SNI 06-6989.56- 2005
3	P. 1244	Ca Katoda Tf R1	4.84	SNI 06-6989.56- 2005
4	P. 1245	Ca Sampel T1 R1	132.04	SNI 06-6989.56- 2005
5	P. 1246	Ca Sampel Tf R1	114.43	SNI 06-6989.56- 2005
6	P. 1247	Ca Katoda To R2	1.37	SNI 06-6989.56- 2005
7	P. 1248	Ca Katoda Tm R2	3.02	SNI 06-6989.56- 2005
8	P. 1249	Ca Katoda Tf R2	3.61	SNI 06-6989.56- 2005
9	P. 1250	Ca Sampel To R2	110.14	SNI 06-6989.56- 2005
10	P. 1251	Ca Sampel Tf R2	105.56	SNI 06-6989.56- 2005

Catatan: Parameter uji sesuai dengan permintaan

Surabaya, 06-April-2016

Laboratorium  
Kimia dan Lingkungan



**Ardhaningtyas Riza Utami, ST, MT**

NIP. 197808232005022001

**Perhatian :**

Laporan Hasil Uji hanya berlaku untuk contoh diatas  
Laporan Hasil Uji ini tidak boleh digandakan kecuali seluruhnya  
Kode Dok : FM - 7.09.02 1/0





Cintya Seruni Nindita dilahirkan di Lumajang, 26 Oktober 1993. Penulis adalah salah satu penerima beasiswa Sampoerna Academy yang telah menyelesaikan sekolah menengah atasnya di SMA Negeri 10 Malang Sampoerna Academy. Penulis berkesempatan menjalankan kerja praktik di Pertamina RU V Balikpapan tahun 2015. Selama masa perkuliahan, penulis aktif

di berbagai organisasi antara lain sebagai *Head of Internal Affairs* Koperasi Siswa Bangsa Chapter Surabaya 2013, Staff Departemen Seni dan Olahraga HMTL ITS 2013-2014, Kabid Profesionalisme Departemen Kesejahteraan Mahasiswa HMTL ITS 2014-2015, dan Staff Marketing and Web Development Putih Abu-Abu Scholarship 2012-sekarang. Penulis juga berkesempatan untuk menjadi wakil Indonesia pada program pertukaran pemuda yang diadakan oleh Kementrian Pemuda dan Olahraga Republik Indonesia yaitu *Asean Students Visit India 2014*. Kini, aktif sebagai anggota Purna Caraka Indonesia sejak tahun 2014. Berbagai penghargaan yang diraih selama masa perkuliahan antara lain Juara 1 Islamic Science Writing Competiton 2012, PKM-M didanai Dikti 2014, dan 15 Besar Finalis Innovation Contest 2015. Penulis dapat dihubungi via email [cintyaseruni@gmail.com](mailto:cintyaseruni@gmail.com)